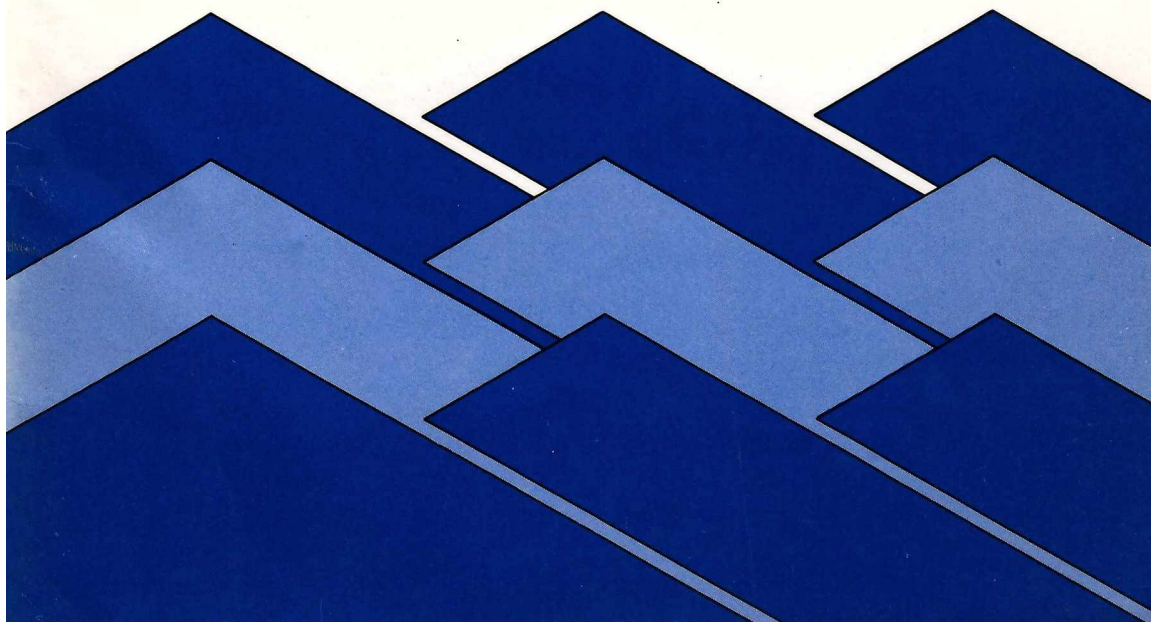


BOLETIM INFORMATIVO

Nº 01 – ANO 19 – MARÇO 1988

SBF



Índice

EDITORIAL V

FÍSICA DE SEMICONDUTORES NO BRASIL

<i>Programa Nacional de Física de semicondutores</i>	01
<i>Carta da Comissão de semicondutores ao Ministro da Ciência e Tecnologia</i>	05
<i>Poços quânticos e super-redes de semicondutores</i>	07
<i>Crescimento epitaxial por reposição química de organometais (MOCVD)</i>	15
<i>Caracterização de semicondutores</i>	20
<i>Os semicondutores amorfos</i>	23
<i>Impurezas em semicondutores: O enfoque teórico</i>	26
<i>Semicondutores Semimagnéticos</i>	32
<i>Ligas metaestáveis de semicondutores: Crescimento epitaxial de novos materiais</i>	35
<i>Bandas de impurezas em semicondutores</i>	38
<i>Dispositivos eletrônicos: Atual estágio no Brasil</i>	44

COMUNICADOS DOS SÓCIOS

<i>Computadores Neurais</i>	45
<i>Eletrometal procura Físico</i>	47
<i>Carta enviada à revista IstoÉ a respeito do artigo: "Guerra dos bites" Publicada no nº 560</i>	48
<i>I Encontro regional de atualização em Física em Santa Maria</i>	50
<i>Pela regulamentação da profissão de Física</i>	51

POLÍTICA CIENTÍFICA

<i>Manifesto da Sociedade Brasileira de Física sobre os programas nucleares brasileiros</i>	55
<i>Manifesto da Sociedade Brasileira de Física sobre o acidente de Goiânia</i>	56
<i>Manifestação dos Físicos Experimentais Brasileiros. Área: Física de altas energias e raios cósmicos</i>	59

<i>Auxílio da Sociedade Americana de Física à América Latina</i>	65
<i>Propostas para os C.As. de Física e Astronomia do CNPq elaboradas pela secretaria regional da SBF do Rio de Janeiro</i>	67
<i>Criação de uma comissão estadual de fiscalização nuclear</i>	70

COMUNICADO DA DIRETORIA

<i>Sobre o projeto da diretoria da SBF: "Física na Próxima Década"</i>	73
<i>Estudos da biosfera e geosfera</i>	75

CONGRESSOS E EVENTOS

<i>Conferência Internacional para 1988/89 – IUPAP</i>	77
---	----

BOLETIM INFORMATIVO SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA - 01- MARÇO 1988

Editor

Adalberto Fazzio

Produção

Conceição A. Vedovello
Fernando Luiz C.S. Braga
Sidney Souza Moraes
Regis Augusto Vac

Revisão

Enza E. Matteis

Notícias e sugestões deverão ser enviadas para:

SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA
Instituto de Física da USP
Depto. de Física dos Materiais e Mecânica
Caixa Postal 20.553 - CEP 01000 - São Paulo - SP
Fone: (011) 815-5599 - Ramal 222



Produções Gráficas e Editora Ltda.
Rua Treze de Maio, 1954 - 8º. a. - Cj. 81
Fones: (011) 288-2384 e 289-9797

SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

Diretoria 1987/1989

Presidente: Gil da Costa Marques
Vice-Presidente: Nelson Studart F^º
Secretário Geral: Henrique G.P. Lins de Barros
Secretário: Adalberto Fazzio
Tesoureiro: Wido H. Schreiner
Secretária de Assuntos de Ensino: Suzana L. de Souza Barros

CONSELHO

Titulares: José Leite Lopes
(1985-1989) Ernst Wolfgang Hamburger
Cid Bartolomeu de Araújo
Henrique Fleming
Oscar Sala

Titulares: Luis Carlos de Menezes
(1987-1981) Sergio Machado Rezende
Fernando de Souza Barros
José Roberto Leite
Paulo M. Bisch

Suplentes: Natanael Rohr da Silva
(1987-1989) Fernando Claudio Zawislak
Constantino Tsallis
Arden Zylberszajn
Maria Augusta M. Davidovich

Editorial

(Convidado)

PLANO NACIONAL DE FÍSICA DE SEMICONDUTORES

Em julho de 1987, foi editado pela Sociedade Brasileira de Física um importante documento intitulado "A Física no Brasil", que é o resultado de um estudo iniciado em novembro de 1985 sobre os aspectos qualitativos e quantitativos da Física no País. Este documento, elaborado pela iniciativa e esforço de nossa comunidade científica, mostra, claramente, o que somos e onde estamos em termos de pesquisa em Física. Ao tomarmos conhecimento do conteúdo deste documento, não podemos nos furtar em colocar a seguinte questão: E agora, para onde vamos?

Com relação à resposta a esta pergunta, não existe unanimidade entre os pesquisadores. A maioria acredita que o planejamento global da Física para o futuro é essencial, e tanto melhor seria, se este período de planejamento fosse longo, por exemplo, dez anos. Alguns, entretanto, julgam que a iniciativa do desenvolvimento deve ficar, como tem sido tradicional entre nós, sob a responsabilidade de instituições ou grupos isolados sem a necessidade de maiores planos. Em favor destes últimos, está o fato de que o planejamento para o desenvolvimento de uma ciência a curto, médio ou longo prazo é um assunto delicado e até ambíguo. Submeter pesquisadores a diretrizes, normas, cobranças, etc., fere o ideal de liberdade, ingrediente julgado essencial para a criatividade. A recente descoberta das cerâmicas supercondutoras de alta temperatura crítica atraiu consideráveis recursos humanos e financeiros, sem que estes constassem de qualquer planejamento prévio. Isto mostra como em termos de pesquisa básica, o estabelecimento de diretrizes e planos pode ser até inócuo. Levou um certo tempo para a alta direção da IBM, por exemplo, compreender como o seu pequeno laboratório de Zurique, com projetos modestos e muita liberdade para os pesquisadores, acabou produzindo quatro laureados com o Prêmio Nobel, nos últimos dois anos, enquanto que suas bem planejadas e sofisticadas instalações americanas de Almadem e Yorktown Heights continuam cultivando seu laureado L. Esaki, ganhador do Prêmio Nobel de 1973, por uma descoberta feita no Japão, ainda durante o trabalho de doutoramento.

Em favor daqueles que acreditam que o planejamento do desenvolvimento científico para o futuro é essencial, está o fato de que a pesquisa em Física Experimental moderna requer recursos e que estes recursos, em alguns casos, são consideráveis. Para aqueles os quais julgam que descobertas como a do efeito Hall quantizado ou a do "scanning tunneling microscope" poderiam ser feitas com poucos recursos, até pelos precários laboratórios brasileiros, lembramos, que por traz destas experiências inovadoras, existe, por exemplo, toda uma tecnologia de alto vácuo, que para se desenvolver necessitou de planejamentos e muitos investimentos. E neste ponto, é fundamental lembrar que em se tratando

de conseguir recursos, a ciência compete diretamente com a agricultura, com o saneamento básico, com a saúde, etc. É que se os recursos a serem levantados são consideráveis, é essencial que a comunidade defina prioridades e apresente planos. Além disso, é essencial que a comunidade saiba como se movimentar para conseguir estes recursos. É bem sabido, que temos uma larga experiência em convencer nossos colegas, em apresentar idéias e sugestões para dentro da comunidade científica. É preciso aprender a falar também com a sociedade brasileira como um todo.

Salvaguardadas as atividades em Física que não demandam um planejamento visível para o seu desenvolvimento, como por exemplo, aquelas ligadas à Física Teórica, existem atividades que devem estar sujeitas a um planejamento até a nível nacional. Exemplos típicos de tais atividades são aquelas ligadas à área experimental de Física de Semicondutores. Isto devido à importância fundamental que esta área tem para o desenvolvimento nacional no que se refere à microeletrônica, informática, telecomunicações, etc. Este é, portanto, um caso típico onde é essencial a produção de um plano nacional de desenvolvimento a ser seguido de um esforço imediato para o levantamento dos recursos correspondentes, que certamente não são poucos.

Quando organizamos a Primeira Escola Brasileira de Física de Semicondutores na UNICAMP em fevereiro de 1983, tínhamos três objetivos: promover a interação entre os diversos grupos de pesquisa no país, incentivar a criação de grupos novos com a incorporação de estudantes e pesquisadores experientes, e criar condições para a elaboração de um plano nacional de desenvolvimento para a área. Estes objetivos foram novamente postos em evidência e divulgados pela imprensa por ocasião da realização da Segunda Escola na USP em fevereiro de 1985 e, novamente, na UNICAMP, em fevereiro de 1987. Mais um passo importante na direção da elaboração deste plano foi dado durante o X Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada, realizado em maio de 1987, quando o Grupo de Trabalho de Semicondutores propôs a criação da Comissão Nacional de Física de Semicondutores junto a SBF. Sob a supervisão desta Comissão e com a realização de uma mesa redonda em Brasília durante a reunião anual da SBF em julho e, de uma reunião no Instituto de Física da USP em agosto, com representantes de diferentes Instituições de pesquisa do país, foram colhidos os subsídios necessários para a construção do plano.

O Plano Nacional de Física de Semicondutores, orçado em aproximadamente trinta milhões de dólares para o triênio, 1988-1990, visa basicamente a recuperação e ampliação da capacidade de pesquisa na área. Este plano, elaborado com a participação de dezesseis Instituições de pesquisa do país, deverá, brevemente, ser apresentado aos órgãos financiadores e convenientemente divulgado.

José Roberto Leite
Presidente da Comissão Nacional de
Física de Semicondutores
da SBF

Física de Semicondutores no Brasil

PROGRAMA NACIONAL DE FÍSICA DE SEMICONDUTORES

INTRODUÇÃO

Os semicondutores são os materiais básicos da microeletrônica. Além de sua importância tecnológica, tais materiais exibem uma enorme variedade de fenômenos e propriedades que atraem a atenção crescente dos cientistas. No Brasil, cerca de cem pesquisadores com o grau de doutor se dedicam à pesquisa básica e aplicada em semicondutores. Muitos deles direcionaram suas atividades para esta área nos últimos anos. Isto, e mais o grande interesse que o assunto tem despertado entre os estudantes, gera um rápido crescimento da comunidade brasileira dedicada à física de semicondutores.

A pesquisa em física dos semicondutores é dispendiosa, comparativamente aos custos em outras áreas da física da matéria condensada, e emprega métodos que se modernizam com enorme rapidez, o que resulta na necessidade de contínuos investimentos. Os laboratórios de pesquisa em semicondutores no Brasil, porém, estão precariamente equipados. O potencial de contribuição dos pesquisadores da área ao desenvolvimento da ciência e tecnologia nacionais será muito mal aproveitado sem a realização de considerável investimento na recuperação e modernização dos laboratórios já estabelecidos e na implantação de novos laboratórios nos centros de pesquisa onde já existam núcleos de pessoas com reconhecida capacidade.

O Programa Nacional de Física de Semicondutores visa a recuperação e ampliação da capacidade de pesquisa na área. O programa envolve reaparelhamento de laboratórios já existentes, implantação de novos laboratórios e apoio sustentado à pesquisa no triênio 1988-1990, e inclui em seu âmbito a produção de materiais e investigação de suas propriedades físicas, o desenvolvimento de dispositivos eletrônicos e opto-eletrônicos e a formação de recursos humanos de alto nível.

A IMPORTÂNCIA DA FÍSICA DE SEMICONDUTORES NA CIÊNCIA E TECNOLOGIA MODERNAS

A investigação de materiais semicondutores constitui, sem dúvida, a área de maior atividade e de maior importância na Física da Matéria Condensada. Isto decorre da enorme variedade de fenômenos físicos que ocorrem nos semicondutores. A contínua descoberta de novos fenômenos nesses materiais tem mantido o interesse da comunidade científica internacional. Tais fenômenos têm levado a inúmeras aplicações tecnológicas entre as quais podemos mencionar lasers de alta eficiência, fontes de micro-ondas, moduladores de luz, sensores de luz, de temperatura, de pressão e de campo magnético de excepcional desempenho, e a quase totalidade dos dispositivos eletrônicos. Desde a invenção do transistor até hoje, foram os progressos na física de semicondutores que possibilitaram o desenvolvimento tecnológico da eletrônica que tem revolucionado a indústria, as comunicações e os próprios costumes da sociedade.

No campo da eletrônica assistimos a um aumento de cerca de mil vezes na capacidade de processar informações desde o início da década de 70, enquanto o custo dos dispositivos que realizam tal processamento caiu pelo mesmo fator. O progresso na física dos materiais semicondutores possibilitou à indústria incorporar em um pequeno "chip" de silício a capacidade de processamento que requeria um grande computador há duas décadas atrás. Por outro lado, a descoberta de novos fenômenos possibilitou o desenvolvimento de dispositivos inteiramente novos, como os pequenos lasers e detectores baseados em arseneto de gálio, e outros compostos da mesma família, que viabilizam as comunicações ópticas. A descoberta de dispositivos que combinam fenômenos eletrônicos e ópticos no processamento de informações abre o potencial de aumentar a velocidade e a capacidade de computação por várias ordens de grandeza em relação à tecnologia atual. Na área da energia, os semicondutores têm também gerado importantes aplicações como as células fotovoltaicas de baixo custo, baseadas no silício amorfo ou as células de alta eficiência, baseadas em arseneto de gálio, usadas por exemplo nos satélites artificiais e outras naves espaciais.

A indústria eletrônica é atualmente responsável pela geração de bens de vários bilhões de dólares por ano e encontra-se em franca e vigorosa expansão. O faturamento dessa indústria, incluindo a de informática, deverá na década de 90 superar o da indústria automobilística em vários países, incluindo possivelmente o Brasil. Como a tecnologia empregada evolui com excepcional rapidez, os países que a detêm são aqueles que apresentam uma ciência desenvolvida, em particular na área de física de semicondutores, e que contam com um quadro de cientistas capazes de gerar e absorver novas idéias com agilidade.

A FÍSICA DE SEMICONDUTORES NO BRASIL

Até o início da década de 70 a atividade em física de semicondutores no País era praticamente inexistente, com apenas alguns pesquisadores isolados em poucas Universidades. A atividade recebeu um bom impulso com a criação, na UNICAMP, de grupos de pesquisa na área, constituídos de brasileiros recém-chegados do exterior e de estrangeiros. Deste esforço resultou, além da formação de um grande número de profissionais na área, o projeto de lasers e outros dispositivos opto-eletrônicos no CPqD da Telebrás, em Campinas, com a geração de tecnologia própria e sua transferência para a indústria.

A física de semicondutores expandiu-se e adquiriu maior dimensão na década de 80, com a consolidação de um grupo de pesquisa teórica no IFUSP e a criação de vários grupos no País – em São Carlos (USP e Federal), INPE, PUC/RJ, COPPE, UFRS, UFMG, UFF e UnB e em outros locais, alguns com atividade exclusivamente teórica, outros basicamente experimentais e outros com ambas as atividades. Nos setores da Engenharia e Indústria houve grande expansão dos laboratórios do LME-POLI e LSI-POLI e o surgimento de algumas indústrias com laboratórios de pesquisa em dispositivos, tais como, a SID – Microeletrônica, Elebra, Iatucom, entre outras.

Entretanto, a expansão da pesquisa básica em física de semicondutores no país tem ocorrido principalmente na direção da pesquisa teórica, criando uma distorção nesta área que deveria ser predominantemente experimental. Isto resulta do fato de que após o investimento inicial na década de 70, houve restrição dos recursos para manutenção e para novos investimentos em laboratórios. Este fato foi agravado pelas rápidas mudanças ocorridas nesta área a nível internacional, resultando na necessidade de vultosos recursos para a modernização dos nossos laboratórios.

Se por um lado o país parou de investir na manutenção e modernização dos laboratórios, continuou investindo na formação de recursos humanos. Resultou disto a atual situação na qual há muitos físicos formados no país e no exterior em física de semicondutores sem laboratórios adequados para trabalhar.

ESTRATÉGIA DO PROGRAMA

O presente projeto visa a consolidação de grupos já estabelecidos através da recuperação e modernização dos laboratórios existentes, garantia de apoio continuado para custeio, e implantação de novos laboratórios com técnicas recentes. Visa também o apoio a novos grupos com bom potencial de pesquisa em física de semicondutores. Durante a execução do programa será estimulada a interação entre os vários grupos. O Programa prevê a existência de comissões externas de acompanhamento e um fluxo de informações eficiente através de circulação de relatórios e realização de encontros. Será, assim, possível promover a cooperação científica e a prestação mútua de serviços. A Comissão Nacional de Física de Semicondutores, que será o gerente máximo do programa, terá também a função de identificar e promover áreas incipientes de importância reconhecida para o domínio, no Brasil, da ciência e tecnologia dos materiais semicondutores. Para que seja possível corrigir falhas do programa, está prevista na solicitação uma reserva técnica equivalente a 20% do valor do projeto, cuja administração ficará a cargo da Comissão Nacional de Física de Semicondutores. A Comissão aplicará esses recursos nos diversos grupos, buscando a melhor harmonização do programa e tendo em vista atingir os seus objetivos.

OBJETIVOS

- . Formar recursos humanos de alta qualificação em ciência e tecnologia de semicondutores para as Universidades, centro de pesquisa e indústria.
- . Gerar conhecimento em ciência e tecnologia de semicondutores.
- . Promover a integração entre os grupos acadêmicos e a indústria de alta tecnologia em semicondutores, microeletrônica e informática.

APOIO SOLICITADO

A implementação do Programa Nacional de Física de Semicondutores se fará através de investimentos em

- . Equipamentos e instalações (salas limpas, capelas, sistemas de proteção, etc.) para laboratórios
- . Material de consumo: gases especiais, substratos, resinas foto-sensíveis, reagentes e produtos de limpeza de grau eletrônico, etc.
- . Pessoal: contratação de pessoal técnico e pesquisadores visitantes
- . Serviços e encargos: manutenção de equipamentos e instalações
- . Passagens e diárias: intercâmbio científico entre os grupos e com instituições de pesquisa internacionais.

GERENCIAMENTO E ACOMPANHAMENTO

O gerenciamento dos recursos será feito por coordenadores locais, indicados pelos grupos integrantes do Programa à Comissão Nacional de Física de Semicondutores. Estão previstos recursos de dois tipos: os recursos previamente alocados aos grupos integrantes do Programa, conforme o previsto neste projeto, e uma reserva técnica (20% do projeto) gerenciada pela Comissão Nacional para atender a necessidades não previstas.

O acompanhamento da implantação e desenvolvimento do Programa será feito por comissões externas a cada grupo através de visitas semestrais. As comissões de acompanhamento serão indicadas pela Comissão Nacional e produzirão relatórios anuais sobre o desempenho do grupo. Será realizado anualmente um Encontro Nacional de Física de Semicondutores para intercâmbio científico e avaliação do desenvolvimento do Programa.

BENEFICIÁRIOS DO PROGRAMA

O impacto de um projeto deste porte na ciência e tecnologia do País será, sem dúvida, muito grande. O Brasil emerge atualmente na área de alta tecnologia e, o sucesso do País nesta área depende criticamente de programas governamentais de apoio aos setores chave. Com esta visão, o Ministério de Ciência e Tecnologia localizou áreas em que o País deverá empreender um esforço mais enfático de formação de pessoal e geração de conhecimento para promover um desenvolvimento tecnológico autônomo. Elaborou, com base nisto, os seus Programas Setoriais. O Programa Nacional de Física de Semicondutores terá um grande reflexo em três Programas Setoriais do MCT, a saber, Novos Materiais, Microeletrônica e Informática.

A importância do presente projeto para os Programas Setoriais do MCT deve ser vista sob dois aspectos. O primeiro, liga-se ao fato de que os semicondutores são materiais de importância incomparável na alta tecnologia, constituindo entre outras coisas, a base da microeletrônica e consequentemente também da informática. O outro aspecto a se considerar é o papel de pioneirismo que a física reconhecidamente tem exercido na tecnologia moderna. As indústrias Americanas e Japonesas, quando almejam se tornar mais inovadoras, quase sempre contratam mais físicos para os seus quadros. Os físicos lidam com fenômenos muito básicos e gerais da natureza e, por tal razão, têm mais facilidade em reconhecer a ligação entre fatos e idéias vistos como desconexos por outros profissionais especializados. As indústrias têm reconhecido o mérito desse tipo de treinamento como formador de pessoas ágeis na geração e absorção de novas idéias. Deve-se destacar, portanto, o fato de que os pesquisadores formados neste Programa terão o potencial para atuar também em outros projetos de alta tecnologia em que o País se envolver. Além disso, um programa de formação de novos físicos gera um processo em cadeia de formação de outros profissionais.

O Programa Nacional de Física de Semicondutores terá certamente importantes efeitos diretos e indiretos no desenvolvimento científico e tecnológico do País e resultará em benefícios em diversos setores, como nas telecomunicações, nos transportes, na produção de bens e na prestação de serviços.

(a) Alair S. Chaves, José Roberto Leite

CARTA DA COMISSÃO DE SEMICONDUTORES AO MINISTRO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Excelentíssimo Senhor
Ministro Renato Archer
Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT
BRASÍLIA – DF

Belo Horizonte, 17 de setembro de 1987

Senhor Ministro

Tenho a satisfação de enviar a V.Exa. o projeto “PROGRAMA NACIONAL DE FÍSICA DE SEMICONDUTORES”. A idéia de se organizar a atividade de física de semicondutores em um programa nacional surgiu durante o X Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada realizado em maio do corrente ano. A Sociedade Brasileira de Física acabava de fazer um trabalho de avaliação da atividade nas diversas áreas da física no País e o relato da parte incluída na matéria condensada foi apresentado naquela reunião.

Constatou-se naquele trabalho de avaliação que a física de semicondutores já é a maior área da física no Brasil, contando com cerca de cem doutores em atividade, e é além do mais, uma área que atrai um grande número de pessoas, seja estudantes, seja pesquisadores que direcionam suas atividades. Apesar do crescente interesse que a física de semicondutores vem despertando entre os físicos brasileiros, o qual se baseia na consciência da importância dessa área para o desenvolvimento Nacional, os recursos financeiros destinados a essa atividade têm sido muito reduzidos. Resultam disso graves problemas, como desempenho muito abaixo da capacidade do pessoal da área, ênfase exagerada na atividade teórica e treinamento de estudantes em laboratórios antiquados. Constatou-se também que havia pouca integração entre os diversos grupos de pesquisa em física de semicondutores, por um lado, e, por outro lado, entre essa comunidade e a indústria nacional.

Os físicos brasileiros estão conscientes de que a física de semicondutores deve ser a pedra fundamental para o desenvolvimento do País em vários setores de alta tecnologia, em particular, na microeletrônica, na informática e nas telecomunicações ópticas, e num horizonte de tempo mais longo, a física de semicondutores possibilitará que o País acompanhe as profundas revoluções em áreas como a robótica, a inteligência artificial, o processamento ultra-rápido de informações, e as transformações que tudo isto causará na sociedade. Decidiu-se, então, criar uma Comissão Nacional de Física de Semicondutores, subordinada à Sociedade Brasileira de Física, com a finalidade de promover o desenvolvimento da física de semicondutores no País e sua integração com a Indústria Nacional baseada em materiais semicondutores.

O presente projeto é um passo fundamental para os objetivos recém-expostos. Porém, como os recursos demandados no projeto somam cerca de trinta milhões de dólares, o mesmo só se viabilizará se contar com o apoio especial de V.Exa. e se o MCT a ele destinar recursos especiais. Estamos convencidos de que o Programa Nacional de Física de Semicondutores produzirá resultados muito acima dos dispêndios necessários e não temos dúvida de que V.Exa., com sua clara visão das interligações da tecnologia moderna, admitirá esse fato sem argumentação mais extensa.

A Comissão Nacional de Física de Semicondutores é o gerente do atual projeto. Estão sendo solicitados US\$ 26.500.000,00 destinados a dezesseis instituições de pesquisa conforme os projetos em anexo e um adicional de US\$ 5.000.000,00 como reserva técnica a ser administrada pela Comissão Nacional. Tal reserva será utilizada para garantir o bom desempenho do Programa, através de suplementação de recursos para custeio e implantação de novos laboratórios.

Os projetos das diversas instituições estão anexados sem uniformização de formato, devido à exiguidade de tempo. Como uma missão do Banco Mundial virá brevemente ao Brasil negociar apoio aos Programas Setoriais do MCT, julgamos altamente conveniente que V.Exa. tivesse em mãos essa montagem editorialmente precária do projeto. Uma montagem mais manipulável e facilmente inteligível será encaminhada brevemente. Pela exiguidade do tempo não foi possível anexar os projetos de duas importantes instituições – O Instituto de Física e Química da USP-São Carlos e o Instituto de Física da UFRS.

Com alta estima e a mais distinta consideração, subscrevo-me de V.Exa.

Respeitosamente,
Alaor Chaves

POÇOS QUÂNTICOS E SUPER-REDES DE SEMICONDUTORES

Nelson Studart

Depto. de Física – UFPE e Depto. de
Física – UFSCar

1. Introdução

A pesquisa em super-redes de semicondutores teve o seu início a partir da proposta de Leo Esaki e Raphael Tsu no artigo *Superlattice and Negative Differential Conductivity* que, tendo sido rejeitado para publicação no *Physical Review*, apareceu no *IBM Journal of Research and Development* em 1970. A idéia consiste na variação periódica da composição da liga ou impurezas durante o crescimento epitaxial de camadas ultrafinas ($< 100 \text{ \AA}$) de composição alternada (p. ex. AlAs/GaAs, InAs/GaSb, CdTe/HgTe) ou dopagem alternada (p. ex. n-GaAs/p-GaAs, n-Si/p-Si) dando origem a uma estrutura periódica na direção do crescimento. A energia potencial resultante da heteroestrutura consiste basicamente de uma seqüência de poços e barreiras de potencial. Os efeitos quânticos são relevantes desde que o comprimento de onda do elétron é comparável à largura da camada e uma série de estados quânticos são formados nos poços onde os elétrons estão confinados (Fig. 1).

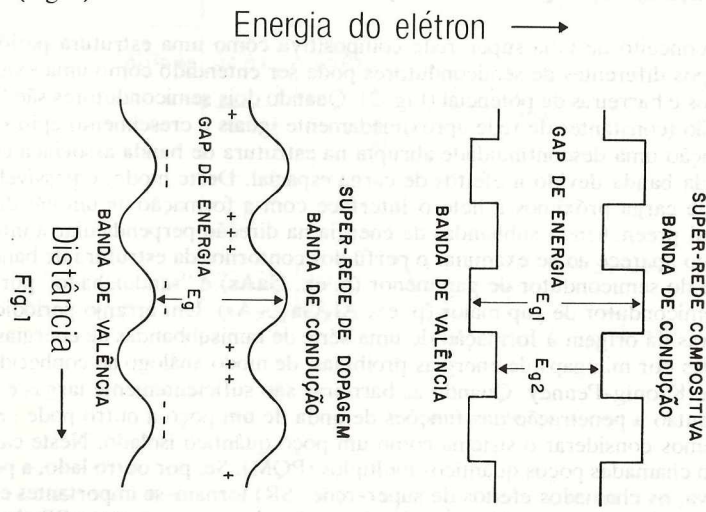


Fig. 1 – Estrutura das bandas de valência e condução nos dois tipos de super-redes.

Conforme sua própria tradição de pesquisa, Esaki, que ganhou o Prêmio Nobel de 1973 pela descoberta de efeitos de tunelamento em sólidos (diodo túnel), imaginava tais efeitos em super-redes: “A idéia de super-rede nos ocorreu quando examinávamos a praticabilidade de formação estrutural por epitaxia de poços e barreiras de potencial suficientemente estreitos de modo a exibir tunelamento ressonante através deles”.

É importante assinalar aqui o comentário de Tsu e Esaki em seu artigo original: “O estudo de super-redes e observações dos efeitos mecânicos-quânticos em uma nova escala física podem gerar uma valiosa área de investigação no campo de semicondutores”. Realmente, esta proposta significou a abertura de uma extensa área de pesquisa com a descoberta de novos fenômenos fundamentais (p.ex. o Efeito Hall Quantizado e a localização de elétrons devido à desordem), bem como produziu um grande impacto na fabricação de dispositivos eletrônicos e óticos.

Atualmente diversas conferências internacionais dedicam-se exclusivamente a discutir tópicos relacionados às heteroestruturas semicondutoras e grande parte do programa da conferência sobre Física de Semicondutores é reservada a este tema. Já existe um periódico exclusivo *Superlattices and Microstructures* e um outro encontra-se em formação. A comunidade brasileira de semicondutores tem acompanhado esta tendência como atestam os anais da última Escola de Semicondutores (Campinas, 1987) e os projetos de pesquisa submetidos no Plano Nacional de Semicondutores.

Todo o extraordinário avanço desta área nos últimos anos tornou-se possível graças ao desenvolvimento de técnicas refinadas de crescimento de cristais de alta qualidade com relação à pureza e composição, assim como, interfaces perfeitas com precisão na escala atômica. Dentre estas técnicas podemos citar a epitaxia por feixe molecular (MBE) e a deposição de vapor químico organometálico (MOCVD).

O objetivo deste artigo é contribuir para a divulgação desta nova e importante área de pesquisa básica com óbvias aplicações tecnológicas, assim como, chamar atenção para seu caráter interdisciplinar.

2. Heterojunções, Poços Quânticos e Super-redes

O conceito de uma super-rede compositiva como uma estrutura periódica formada por tipos diferentes de semicondutores pode ser entendido como uma extensão natural de poços e barreiras de potencial (Fig. 2). Quando dois semicondutores são “colados” com perfeição (constantes de rede aproximadamente iguais e crescimento epitaxial) surge na heterojunção uma descontinuidade abrupta na estrutura de banda associada com o entortamento da banda devido a efeitos de carga espacial. Deste modo, é possível confinar portadores de carga próximos à hetero-interface com a formação de um gás de elétrons bidimensional preenchendo subbandas de energia na direção perpendicular à interface. O poço quântico aparece ao se examinar o perfil dos contornos da estrutura de banda, quando um filme do semiconductor de gap menor (p. ex. GaAs) é “sandwichado” por duas camadas do semiconductor de gap maior (p. ex. $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$). Um arranjo periódico de poços e barreiras dá origem à formação de uma série de minisubbandas de energias permitidas, separadas por minigaps de energias proibidas, de modo análogo ao conhecido modelo de bandas de Kronig-Penney. Quando as barreiras são suficientemente largas e os poços, profundos, então a penetração das funções de onda de um poço a outro pode ser desprezada e podemos considerar o sistema como um poço quântico isolado. Neste caso, as estruturas são chamadas poços quânticos múltiplos (PQM). Se, por outro lado, a penetração é significativa, os chamados efeitos de super-rede (SR) tornam-se importantes e a descrição física é qualitativamente diferente. Deste modo, devemos tratar na SR do efeito de dispersão na direção de crescimento e obtemos um material altamente anisotrópico. Nos

PQM, os portadores de carga formam um sistema bidimensional confinado no plano de camadas e distribuídos em subbandas ao longo do eixo de quantização (Fig. 3).

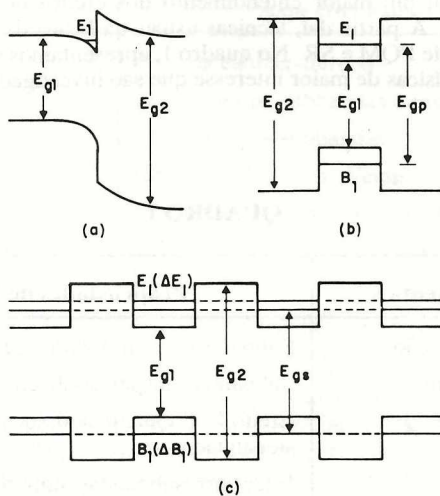


Fig. 2 - Diagramas das diferentes configurações para quantização de energia: (a) heterojunção, (b) poço quântico e (c) super-rede. Estados de elétrons (E) e buracos (B) são indicados.

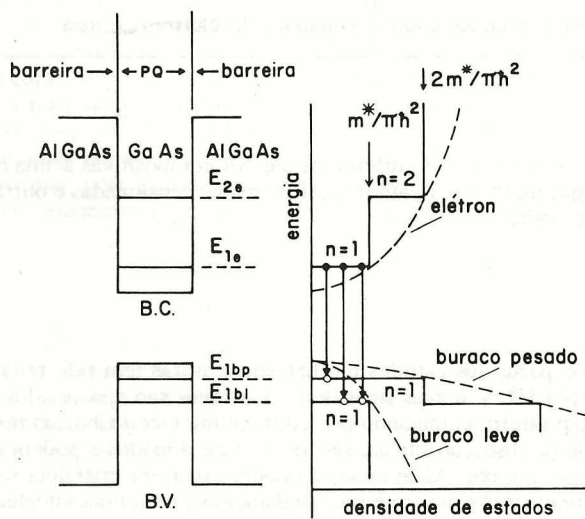


Fig. 2 - Densidade de estados como uma função da energia para um PQ (linha sólida) e para um cristal 3D (linha tracejada). Transições entre estados eletrônicos E_{1e} e estados de buraco (E_{1bp} e E_{1bl}) são mostrados.

Os primeiros esforços na compreensão destes sistemas pelo grupo da IBM foram concentrados nas propriedades de transporte tanto perpendicular quanto paralelo no plano das camadas. Logo depois, o grupo da Bell, liderado por R. Dingle, iniciava os estudos óticos que proporcionaram um maior entendimento dos efeitos de confinamento quântico nestas heteroestruturas. A partir daí, técnicas usuais da Física de Estado Sólido têm sido empregadas no estudo de PQM e SR. No quadro I, apresentamos algumas técnicas de medida e as propriedades físicas de maior interesse que são investigadas.

QUADRO I

Técnicas Experimentais	Propriedades de interesse
Luminescência/Absorção	Subbandas, éxcitons/impurezas
Transporte Ressonante	Subbandas, dispersão de energia
Magneto-resistência	Efeito Hall Quantizado, localização e dimensionalidade
Magneto-ótico	Inter-intrasubbandas, impurezas
Espectroscopia Raman	Excitações coletivas, fônons
Espectroscopia Infravermelha	Plasmons, elétrons quentes
Calor específico	Densidade de estados
Espectroscopia de pico segundo	Dinâmica do elétron/éxciton

Os outros tipos de SR, diferentes das SR compositivas acima discutidas, tais como as SR de dopagem (n-i-p-i), amorfas, de camadas tensionadas e outras estruturas também têm sido estudadas.

3. Materiais

A maior parte dos estudos em heteroestruturas tem sido feita usando semicondutores dos grupos III-V e suas ligas. Estes materiais são apropriados porque são semicondutores de gap direto, eliminando por conseguinte a contribuição dos fônons em processos de emissão e absorção óticas, são facilmente dopados e podem apresentar grande mobilidade dos portadores. Além disso, possuem estrutura cristalina semelhante e parâmetros de rede muito próximos que são fundamentais para uma interface livre de imperfeições. A heteroestrutura mais estudada é indubitavelmente aquela formada por GaAs-Al_xGa_{1-x}As (x variando de 10 a 40%). No entanto, materiais envolvendo elementos do grupo IV, e compostos dos grupos II(IV)-VI também têm sido alvo de interesse. No quadro II, apresentamos materiais que estão sendo estudados e os aspectos físicos de maior interesse.

QUADRO II

Materiais	Aspectos físicos relevantes
InAs-GaSb	Sistema elétron-buraco
GaSb-AlSb	Transições de subbandas e reversão
GaAs-InAs(GaP)	Efeito tensão-subbandas
InP-InGa(Al)As	Interação ciclotron- fônon
Si-SiGe	Efeito tensão-aumento da mobilidade
PbTe-PbSnTe	Alinhamento de banda/anisotropia
CdTe-CdHgTe	Estados interfaciais, propriedades no infravermelho
CdTe-CdMnTe	Éxcitons interfaciais, propriedades magnéticas

A heteroepitaxia é de fundamental importância para o crescimento de SR e PQ. Em particular, a técnica de epitaxia por feixe molecular (MBE) tem sido exaustivamente utilizada. O processo envolve o crescimento epitaxial de filmes de compostos semicondutores através da reação de um ou mais feixes moleculares com uma superfície cristalina nas condições de ultra alto-vácuo. O MBE permite um controle eficiente sobre os feixes moleculares incidentes e proporciona uma mudança rápida nas espécies dos feixes. O crescimento das amostras é monitorizado por canhões de elétrons para difração RHEED (medidas *in situ* da taxa de crescimento) e espectrômetro de massa (análise dos feixes e gás residual). MOCVD é também uma técnica de crescimento epitaxial que consiste na pirólise de organometálicos e hidretos sobre um substrato aquecido. A pureza dos reagentes é uma grave limitação desta técnica. A caracterização das amostras é feita por difração de raios-X (medida das larguras de poços e barreiras) e fotoluminescência (análise da perfeição da heterointerface). A microscopia eletrônica de transmissão também é empregada para confirmar a perfeição e descontinuidade da interface.

A utilização da dopagem seletiva na heteroestrutura (chamada dopagem por modulação) é fundamental, pois garante uma separação espacial dos portadores de suas impurezas associadas, aumentando enormemente a mobilidade eletrônica das amostras ($\approx 10^6 \text{cm}^2/\text{V.s}$).

4. Aplicações

Não pretendemos discutir aqui todas as inúmeras aplicações dos PQ e SR em tecnologia de dispositivos eletrônicos. Vamos apresentar apenas dois exemplos recentes de transistores que utilizam as propriedades de transporte paralelo e perpendicular ao plano das camadas. O primeiro deles, transistor de alta mobilidade eletrônica (HEMT), baseado nas propriedades do sistema de elétrons na heterojunção de GaAs/AlGaAs com dopagem por modulação, é especialmente atraente para operações à temperatura de nitrogênio líquido (Fig. 4). O desenvolvimento da tecnologia do HEMT é muito importante para aplicações nos sistemas integrados de larga escala (VLSI). O outro exemplo é o transistor de tunelamento ressonante que é basicamente um transistor de heterojunção bipolar (HBT) com o emissor de tunelamento dopado degeneradamente e uma barreira dupla simétrica na base. A corrente no emissor como função da voltagem base-emissor apresenta uma série de picos correspondentes ao tunelamento ressonante através dos estados quase-estacioná-

rios do poço. Este novo dispositivo tem potencialidade em aplicações lógicas, de modo que um arranjo paralelo destes transistores pode funcionar como um conversor analógico-digital de altíssima velocidade (Fig. 5).

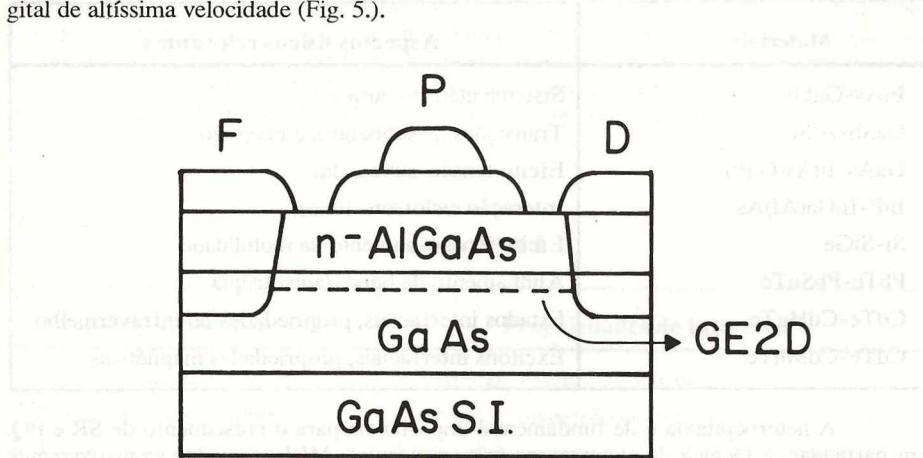


Fig. 4

Fig. 4 – Transistor HEMT formado de uma única heterojunção com dopagem seletiva tendo um portão Schottky P, fonte (F) e dreno (D). S.I significa semi-isolante.

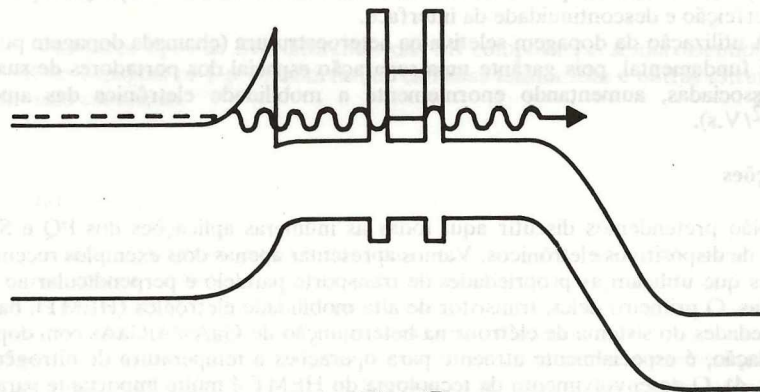


Fig. 5

Fig. 5 – Diagrama de banda de um transistor de tunelamento ressonante com elétrons do emissor tunelando em ressonância através do primeiro nível do poço.

As propriedades de PQ são também utilizadas em dispositivos opto-eletrônicos. Em particular, os efeitos não-lineares óticos do PQ na vizinhança das margens da banda são os mais intensos já encontrados, quando são comparados a qualquer semicondutor à temperatura ambiente. Daí, uma grande aplicação em moduladores óticos de alta velocidade, chaveamento ótico em cavidade, dispositivos auto-eléto-óticos e fotodetetores de alto ganho (Fig. 6).

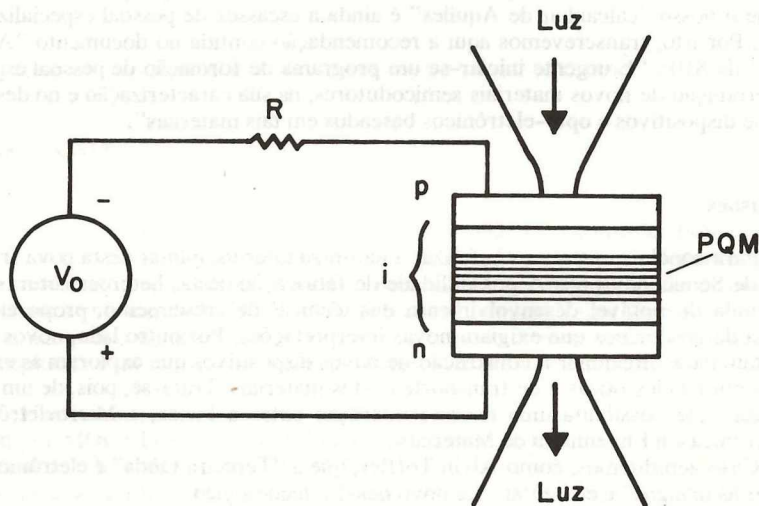


Fig. 6

Fig. 6 – Dispositivo opto-eletrônico formado por PQM que, ligado a um simples resistor, apresenta bi-estabilidade ótica.

5. A Pesquisa no Brasil

A pesquisa de PQ e SR no Brasil tem sido até agora essencialmente teórica com grupos espalhados por São Carlos, Campinas, São Paulo, Natal e Recife. O motivo óbvio é a precariedade de nossos laboratórios de pesquisa em semicondutores e os custos dos equipamentos para crescimento e caracterização das amostras. No entanto, vários pesquisadores experimentais brasileiros estiveram ou estão estagiando em laboratórios de vanguarda no exterior. O Grupo da UFMG adquiriu um equipamento de MBE, que já está em fase de operação com crescimento de filmes de GaAs e da liga AlGaAs, e aguarda recursos para um laboratório ótico para caracterização. A vinda de Raphael Tsu por um certo período propiciou a compra de um MBE de menor porte que está sendo implantado por etapas no IFQ-São Carlos (USP). O IFGW da Unicamp e o CPqD-Telebrás já dispõem de equipamentos de MOCVD e o crescimento de SR pelo Grupo da Telebrás foi anunciado recentemente. Grande parte dos planos de investimento em Física de Semicondutores de

diversas instituições refere-se a estudos em heteroestruturas produzidas por MBE e MOCVD. O plano nacional que está sendo elaborado pela Comissão de Semicondutores da SBF, bem como pedidos de auxílio à FINEP, indicam que o Brasil possa ter em breve uns quatro sistemas MBE. Além dos dois já adquiridos, a Unicamp e o IFUSP estão empenhados na aquisição de MBE e laboratórios associados para análise e caracterização. A PUC-RJ e a UFRN também pleiteiam recursos para máquinas MOCVD.

Acreditamos que um País que tem pretensões de desenvolver uma indústria nacional autônoma de Informática precisa investir maciçamente em pesquisa básica. Entendemos que o nosso “calcanhar de Aquiles” é ainda a escassez de pessoal especializado de alto nível. Por isto, transcrevemos aqui a recomendação contida no documento “A Física no Brasil” da SBF: “É urgente iniciar-se um programa de formação de pessoal especializado na produção de novos materiais semicondutores, na sua caracterização e no desenvolvimento de dispositivos e opto-eletrônicos baseados em tais materiais”.

6. Conclusões

Para concluir, queremos enfatizar a natureza interdisciplinar desta nova fronteira da Física de Semicondutores. A possibilidade de fabricação destas heteroestruturas artificiais, advinda do notável desenvolvimento das técnicas de crescimento, proporcionou a descoberta de fenômenos que exigiam novas interpretações. Por outro lado, novos efeitos contribuíram para direcionar a construção de novos dispositivos que exploram as extraordinárias propriedades óticas e de transporte destes materiais. Trata-se, pois, de um campo de pesquisas que possibilita uma enorme interação entre a Física, a Microeletrônica, a Opto-eletrônica e a Engenharia de Materiais.

Caso acreditemos, como Alvin Toffler, que a “Terceira Onda” é eletrônica, urge “arregaçar as mangas” e enfrentar este novo desafio tecnológico.

Referências

1. E.C. Valadares, M.V. Moreira, J.C. Bezerra Filho, I.F. Lupiano, *Ciência* nº 35, p. 44 (1987) – uma introdução elementar.
2. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. QE-22, nº 9 (1986) – uma abrangente coletânea de artigos convidados.

CRESCIMENTO EPITAXIAL POR REPOSIÇÃO QUÍMICA DE ORGANOMETAIS (MOCVD)

Mauro Monteiro Garcia de Carvalho – Instituto de Física/UNICAMP

INTRODUÇÃO:

Em 1968, Manasevit⁽¹⁾ demonstrou a possibilidade de crescer filmes monocristalinos de semicondutores dos grupos III-V, II-VI e IV-IV sobre substratos semi-isolantes e semicondutores, utilizando-se da combinação de um organometal e de um hidreto. A esta técnica chamou de MOCVD (Metalorganic Chemical Vapor Deposition) que, desde então, não parou de aperfeiçoar-se e obter sucessos consecutivos no domínio da homo e heteroepitaxia e na fabricação dos mais diversos dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos.

Hoje, com seus quase vinte anos de desenvolvimento, a técnica de crescimento epitaxial por MOCVD está no “estado da arte”. Quase tudo o que é obtido por qualquer outra técnica, é também obtido, por MOCVD. Por outro lado, até o momento, nenhuma outra técnica se mostrou tão versátil quanto a de MOCVD. Além disso, um sistema de MOCVD, ou seja, o conjunto de equipamentos que operam segundo esta técnica, é relativamente barato (~ US\$ 100.000), de montagem não muito sofisticada e de fácil manipulação.

No Brasil, um sistema convencional de MOCVD foi projetado e construído por Marco A. Sacilotti no CPQD da Telebrás. Neste sistema já foram feitos lasers de GaAs/GaAlAs e, em breve, deverão estar produzindo lasers de poço quântico.

Na Unicamp, montamos um sistema de MOCVD em vácuo. É um sistema diferente dos convencionais e já realizou crescimento de GaAs, GaAlAs e GaAs, sobre si.

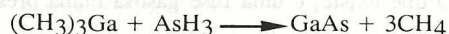
Tenho ainda informações do interesse da UFRN e da PUC-RJ em construir um destes sistemas.

A seguir, apresentaremos uma sucinta descrição dos princípios da técnica de MOCVD, bem como, da arquitetura dos sistemas existentes, e faremos uma comparação com outros sistemas.

Para os mais interessados, em breve, estaremos publicando um artigo bem mais completo sobre o assunto na Revista Brasileira de Física Aplicada e Instrumentação.

FUNDAMENTOS DO PROCESSO

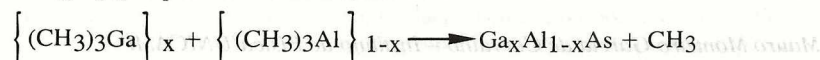
Basicamente, a reação que dá origem ao crescimento epitaxial ocorre entre um hidreto e um organometal sobre a superfície aquecida de um substrato. No caso da formação de GaAs a partir do trimetilgálio (TMG), a reação se escreve:



Em geral, os organometais são líquidos à temperatura ambiente. Assim, num sistema convencional, usa-se um gás de arraste – usualmente o hidrogênio – para transportar seu vapor até a superfície do substrato.

Os fluxos do hidreto e do vapor de organometal são controlados e medidos por controladores de fluxo de massa.

Um sistema completo deve dispor de outros tipos de hidretos ou organometais como fonte dos dopantes. Além disso, a obtenção de ligas do tipo GaAlAs, InGaAs, InGaAsP, etc., requerem o uso de mais de um organometal do mesmo grupo. Por exemplo, a obtenção de $Ga_xAl_{1-x}As$ pode se dar através de:



Num sistema convencional, organometais, hidretos e hidrogênio entram, em grande velocidade, através de uma extremidade de um tubo de quartzo, onde se situa o substrato sobre um suporte de grafite. O aquecimento do substrato se faz, em geral, através de uma bobina de RF acoplado ao grafite. A figura 1 mostra um esquema bastante simplificado de um sistema convencional de MOCVD.

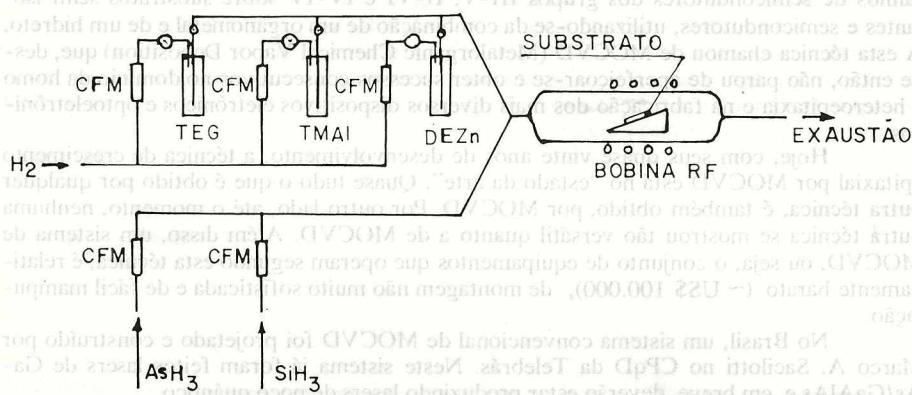


Fig. 1– Esquema simplificado de um sistema convencional de MOCVD. TEG, TMAI e DEZn são os organometais trietilgálio, trimetilalumínio e dietilzínco (dopante). CFM significa Controlador de Fluxo de Massa e o SiH_3 é usado como dopante.

Com sistemas deste tipo, já foram obtidos praticamente todos os tipos de dispositivos, além de poços quânticos, super-redes, etc.

O sistema de MOCVD⁽²⁾ em vácuo que construímos na Unicamp (não confundir com MOCVD a baixa pressão que, basicamente é o sistema convencional ligado a uma bomba de vácuo à saída), tem algumas diferenças importantes em relação ao convencional. Nele, a câmara de crescimento (em grafite) dentro de uma câmara de vácuo, é totalmente aquecida através de uma resistência elétrica. Assim, suas paredes quentes ajudam na quebra das ligações dos hidretos e organometais, melhorando desta forma, a eficiência do sistema. Durante o crescimento, não existe um fluxo gasoso sobre o substrato como no sistema convencional. O que existe, é uma fase gasosa numa pressão entre 10^{-3} e 10^{-2} Torr aproximadamente.

Devido à baixa pressão reinante, o vapor organometálico é introduzido na câmara de crescimento simplesmente por diferença de pressão. Portanto, neste sistema não há necessidade de gás de arraste (salvo quando a pressão de vapor do organometal é muito baixa). A Fig. 2 mostra um esquema simplificado do sistema MOCVD em vácuo.

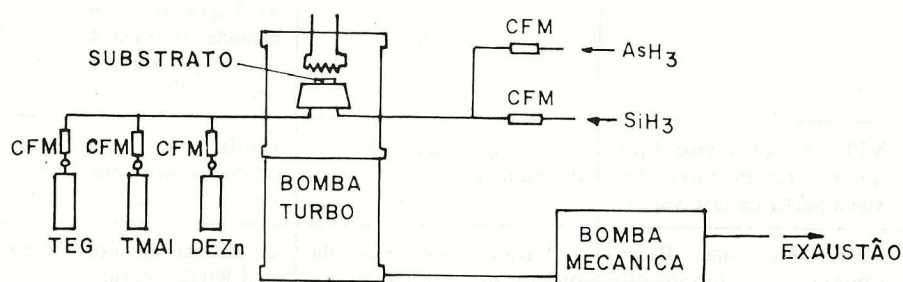


Fig. 2 - Esquema simplificado de um sistema de MOCVD em vácuo.

As vantagens deste sistema sobre o sistema convencional são principalmente duas:

- 1) É muito mais seguro, porque é tudo em aço, não usa gás de arraste (hidrogênio) e está sempre sob vácuo, o que denuncia qualquer vazamento que por ventura apareça.
- 2) É mais econômico, pois não usa hidrogênio e é mais eficiente.

Como desvantagem, temos o fato de ser um sistema de alto vácuo – com todos os problemas que isto acarreta – e de incorporar mais carbono nas camadas crescidas que o sistema convencional. Além disso, a bibliografia a seu respeito é muito pequena.

COMPARAÇÃO ENTRE MOCVD E OUTRAS TÉCNICAS

Existem várias técnicas de crescimento epitaxial. Todas têm algumas vantagens e desvantagens sobre as outras. Resumidamente, o quadro abaixo dá as vantagens e desvantagens de cada uma das principais técnicas em relação à técnica de MOCVD.

TÉCNICA	VANTAGENS	DESVANTAGENS
LPE (Liquid Phase Epitaxy) – crescimento epitaxial a partir da fase líquida.	Ótima qualidade elétrica das camadas crescidas.	1) O crescimento se faz perto das condições de equilíbrio termodinâmico, dificultando ou impossibilitando certas heteroepitaxias. 2) Escolha limitada de dopantes. 3) Interfase larga. 4) Espessura mínima da camada crescida de dezenas de parâmetros de rede.
VPE (Vapor Phase Epitaxy) – crescimento epitaxial a partir da fase vapor.	Ótima qualidade elétrica das camadas.	É difícil o crescimento de compostos com Alumínio.
MBE (Molecular Beam Epitaxy) – crescimento epitaxial por feixe molecular.	1) Largura da interface da ordem do parâmetro de rede. 2) Crescimento monitorado.	1) Sistema de ultra vácuo – difícil de operar. 2) Não cresce compostos de fósforo. 3) Muito caro. Sistema pelo menos 10 vezes mais caro que o MOCVD.
CBE (Chemical Beam Epitaxy) – crescimento epitaxial por feixe químico.	Idêntico ao MBE.	1) Sistema de ultra vácuo – difícil de operar. 2) Muito caro. Sistema pelo menos 10 vezes mais caro que o MOCVD.
ALE (Atomic Layer Epitaxy) – crescimento epitaxial por deposição de camada atômica.	Cresce camada atômica por camada atômica.	Ainda muito pouco usado.

Sob o ponto de vista industrial, para a maioria dos dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos com compostos III-V, a técnica de MOCVD é a mais adequada entre todas. Ela alia uma grande produtividade (crescimento simultâneo sobre vários substratos) com qualidade e baixo preço.

É importante assinalar que, sob o ponto de vista da segurança, a técnica de MOCVD é a que requer maiores cuidados na sua utilização. A arsina, um hidreto muito usado para o crescimento de GaAs, é extremamente tóxica. A ingestão de apenas 20 ppm durante meia hora é fatal! A fosfina, usada para o InP, embora menos tóxica, é pirófora. Todos os organometais são altamente piróforos. Finalmente, os reatores convencionais trabalham com um fluxo de alguns litros por minuto de hidrogênio ... que é explosivo!

CONCLUSÃO

Para a escolha de uma técnica de crescimento epitaxial, é fundamental definir os objetivos propostos. A técnica de MOCVD é uma técnica poderosa e que pode ser útil para a maioria dos possíveis objetivos. Entretanto, ela não é a única e nem está acima de todas as outras. Por outro lado, bons resultados com qualquer das técnicas existentes, só é possível com muito trabalho, tempo, caracterização das camadas, materiais e equipamentos sofisticados.

No Brasil, as dificuldades de quem trabalha no ramo são enormes sobretudo no concernente a produtos importados. Mais que a falta de dinheiro, a burocracia e as dificuldades envolvidas numa importação atrapalham e retardam qualquer trabalho sério. Acredito, que os prejuízos, causados por uma importação livre para a pesquisa, seriam muito menores que o lucro científico, cultural e até mesmo econômico que isto aportaria.

REFERÊNCIAS

- 1) H.M. Manasevit Appl. Phys. Lett. 12, 156 (1986)
- 2) L.M. Fraas – J. Appl. Phys. 52, 6939 (1981)

CARACTERIZAÇÃO DE SEMICONDUTORES

Jean Pierre Von Der Weid – Depto. de Física – PUC/RJ

As técnicas modernas de fabricação de dispositivos semicondutores passam basicamente pelo crescimento de camadas epitaxiais com características próprias de composição, dopagem, resistividade, etc. Os dispositivos semicondutores evoluíram de simples junção p-n de silício ou germânio dopados com impurezas doadoras ou aceitadoras para elaboradas heteroestruturas envolvendo diferentes camadas epitaxiais de ligas semicondutoras com espessura, composição e dopagem próprias, onde todos os parâmetros são bem ajustados para um bom desempenho do dispositivo.

Assim, por exemplo, um laser de GaAs contém várias camadas sucessivas de ligas de GaAs e AlAs com dopantes p e n de modo a aumentar ao máximo o confinamento simultâneo de portadores e de fótons no interior da camada ativa. Pode-se, assim, ver a importância da caracterização de cada camada no processo de fabricação de dispositivos.

Caracterização de semicondutores é na realidade um vasto conjunto de técnicas experimentais combinadas, que permitam formar uma idéia precisa sobre a camada epitaxial crescida. Considerando-se que esta camada cristalina foi concebida para objetos bem determinados, a sua caracterização envolve um conjunto muito grande de aspectos. É preciso conhecer não somente a cristalinidade, presença de defeitos de estrutura, deslocamentos, defeitos pontuais e complexos, impurezas residuais e dopantes intencionalmente introduzidos como, também, a concentração e tipo de portadores de carga, mobilidade e a vida média dos portadores minoritários.

As técnicas experimentais envolvidas neste processo são bastante diferenciadas e dificilmente se consegue concentrá-las integralmente em um só laboratório. Dentre os equipamentos de maior porte, podemos citar os equipamentos de raios-X para caracterização cristalina, com eventuais aplicações da radiação sincrotron para aumentar a resolução das técnicas, os microscópios e microssondas eletrônicas para caracterização morfológica, os espectrômetros Auger e SIMS para microanálise, assim como, as técnicas de retroespalhamento Rutherford (RBS) e reações nucleares para determinação de impurezas e composição exata de ligas em diferentes profundidades.

Envolvendo montagem de menor porte, podemos citar as técnicas de caracterização elétrica; resistividade, efeito Hall, capacitância e DLTS, bem como, as técnicas de caracterização ótica: fotoluminescência, absorção ótica, refletividade e fotocondutividade. Recentemente, medidas de capacitância combinadas com ataque eletroquímico vêm permitindo medidas de concentração de portadores de profundidades bem superiores às que se consegue com medidas de capacitância convencionais, podendo, assim, ser empregadas para determinação de níveis relativos de energia em heterojunções.⁽¹⁾

As técnicas de absorção ótica trazem informações importantes sobre a estrutura de bandas do material, se a banda proibida é do tipo direto ou indireto, etc. Entretanto, como as camadas epitaxiais são extremamente delgadas e crescidas sobre um substrato

muito mais espesso, é necessário que este último não perturbe completamente as medidas. Dessa forma, para se medir a absorção ótica de uma liga de GaAs – GaAlAs sobre substrato de GaAs, é necessário um cuidadoso trabalho de ataque químico para se retirar o substrato da região a ser medida, pois ele é opaco na ponta de comprimento de onda, onde a liga começa a absorver. Neste sentido, a espectroscopia fotoacústica apresenta grandes vantagens, pois é capaz de medir a absorção ótica de uma camada sem que haja influência do substrato. Medidas de absorção ótica vêm sendo efetuadas rotineiramente em nosso Laboratório em cooperação com a COPPE-UFRJ sobre filmes de silício amorfo depositados sobre lâminas de vidro. Neste caso, o substrato é totalmente transparente e informações como banda proibida e espessura do filme são diretamente obtidas.

Dentre as técnicas de caracterização, a fotoluminescência é particularmente poderosa, sobretudo no que se refere a compostos e ligas semicondutoras III-IV. Trata-se de uma técnica não destrutiva que emprega equipamentos de simples manuseio e que permite a obtenção de um grande número de informações, seja para a qualificação direta do material para uso industrial seja para a pesquisa fundamental.

A técnica básica de fotoluminescência consiste na excitação de portadores por meio de fótons com energia maior que a banda proibida do material, e na observação de espectro emitido. Para a excitação, emprega-se, de um modo geral, os lasers de Argônio, Kriptônio ou Hélio-Neônio, embora lâmpadas de mercúrio ou xenônio possam também ser empregadas. A influência de Temperatura é também muito importante, pois os espectros que se observam a baixas temperaturas (Hélio líquido) diferem bastante dos observados a Nitrogênio líquido ou temperatura ambiente. Outro parâmetro, que pode ser variado trazendo informações importantes, é a potência de excitação. Efeitos combinados de fotoluminescência com aplicação de pressão hidrostática ou axial, bem como, campos magnéticos trazem também informações importantes sobre a simetria e configuração de centros luminescentes.

A informação mais imediata que se pode obter da fotoluminescência é o valor da banda proibida de uma liga semicondutora, nos casos em que ela é do tipo direto. Se a composição da liga não corresponder a esta situação, a transição banda-banda não é observada em fotoluminescência, embora outras transições, envolvendo defeitos ou impurezas, possam ser observadas. Por outro lado, sabe-se que a composição de liga determina o valor da banda proibida, de modo que pode-se rapidamente conhecer, não destrutivamente, a composição de uma liga mediante uma medida de fotoluminescência e uma curva de calibração.

Assim, por exemplo, ligas de GaAs – AlAs têm banda proibida direta para composições, envolvendo concentrações de alumínio inferiores a um valor em torno de 45%. Nesta região, o material tem uma eficiência de fotoluminescência que cai rapidamente deixando de haver fotoluminescência em concentrações de alumínio mais altas. Um dos estudos que vimos realizando é o da fotoluminescência em ligas próximas a este ponto de transição, e paralelamente às medidas de fotoluminescência, as análises por Auger (realizadas em colaboração com a COPPE-UFRJ) e RBS permitem a calibração cuidadosa da curva de fotoluminescência versus composição. Este tipo de calibração é de interesse do CPPD – Telebrás, com quem vimos colaborando há alguns anos e que nos fornecem as amostras que analisamos.

Além da transição banda-banda, a fotoluminescência permite a observação de transição banda impurezas, éxcitons localizados e centros profundos. As transições envolvendo impurezas doadoras raras permitem imediatamente verificar a presença de tais impurezas na amostra. Assim, por exemplo, carbono é facilmente observável como impureza em GaAs crescido por LPE, pois as barquinhas de arrasto do material são de grafite. A presença de carbono, no caso, observa-se por uma linha característica na região banda-aceitador a baixas temperaturas⁽²⁾.

Os centros profundos têm um papel decisivo no desempenho de dispositivos semicondutores, pois podem controlar a vida média dos portadores em excesso mesmo em baixas concentrações. Os espectros de fotoluminescência associados a níveis profundos podem provir de transições internas em átomos de impureza, de recombinação em complexos ou captura radiativa de portadores por níveis profundos⁽³⁾. De um modo geral, a recombinação em complexos apresenta um forte acoplamento com fônons com um espectro que se caracteriza por uma banda larga, com a transição zero fônons fraca em relação ao máximo da banda. Um exemplo bem característico é a banda em 1.55eV que se observa em $Ga_{1-x}Al_xAs:Ge$ ⁽⁴⁾, com uma estrutura de fônons envolvendo cerca de sete réplicas da transição eletrônica. O estudo da influência da temperatura e da potência de excitação trazem também informações interessantes a respeito de mecanismos de relaxação e recombinação, bem como sobre a estrutura do centro profundo.

A técnica de fotoluminescência possibilita ainda um recurso suplementar, que é o do mapeamento topográfico de intensidade e do espectro de fotoluminescência. Usando-se um sistema focalizado de excitação, é possível obter-se diâmetros do feixe de excitação que podem chegar a $0,5 \mu m$ com uma distribuição gaussiana de intensidade. Colocando-se a amostra em uma mesa XYZ controlada com resolução de $0,1 \mu m$, é possível obter-se um mapeamento cuja resolução estará limitada pelo comprimento de difusão dos portadores e não pela ótica de excitação. Em nosso laboratório, estamos trabalhando na montagem de um sistema deste tipo, com o objetivo de obter informações sobre homogeneidade de camadas epitaxiais, além de procurar obter oticamente informações sobre o comprimento de difusão. Uma outra possibilidade para se obter o mapeamento de fotoluminescência é o emprego de uma câmara vidicon e um microscópio ótico. Este sistema, entretanto, não permite facilmente uma boa resolução espectral e espacial.

Em conclusão, não pretendemos aqui ter abordado todos os aspectos envolvidos em um tema tão vasto como o de caracterização de semicondutores. De um modo geral, a caracterização envolve um conjunto de técnicas combinadas, e um grupo de caracterização que desenvolva um tipo de técnica, depende em geral de informações complementares obtidas seja em outros laboratórios. No caso do Departamento de Física da PUC/RJ, a ênfase está centralizada nas técnicas óticas, em particular a fotoluminescência.

REFERÊNCIAS

- 1 - M.T. Furtado, M.S.S. Loural e A.C. Sachs. Anais da 3ª Escola Brasileira de Física de Semicondutores, Campinas, Fevereiro 1987.
- 2 - B.J. Skromne, T.S. Low e G.E. Stillman. Int. Symp. GaAs and Related Compounds, Albuquerque (1982).
- 3 - B. Monemar e H.G. Grimmeiss. Prog. Crystal Growth Charact. 5, pp 47-88 (1982).
- 4 - M.T. Furtado e J.P. von der Weid. Solid State Commun. 54 3, 233 (1985).

OS SEMICONDUTORES AMORFOS

I. Chambouleyron e F. Alvarez – Instituto de Física, UNICAMP.

Existe uma perfeita periodicidade na posição dos átomos nos cristais. Esta propriedade tem conseqüência nos fenômenos de transporte de carga e na interação da luz com o material. Nos semicondutores cristalinos os mecanismos de transporte de carga podem ser mudados e controlados pela contaminação seletiva de impurezas. Toda a eletrônica moderna, do diodo retificados ao microprocessador, está baseada nesta possibilidade.

Os fenômenos de transporte dos semicondutores amorfos são, pelo contrário, muito pouco sensíveis aos processos de impurificação (dopagem). Neste sentido eles não são aptos para a fabricação de dispositivos eletrônicos. Em 1975 porém, Spear e Le Comber, mostraram que o silício amorfo hidrogenado podia ser dopado e, grandes mudanças na condutividade foram medidas (1). Este trabalho pioneiro foi iniciador de uma das áreas da física do estado sólido mais dinâmicas nos últimos dez anos. O silício amorfo hidrogenado é produzido pela decomposição do silano mediante uma descarga de rádio frequência e, as impurezas são introduzidas durante o processo de descarga.

Por que o silício amorfo hidrogenado tem um comportamento tão peculiar? Apesar das limitações de espaço, desenvolveremos algumas idéias básicas que explicam esta e outras propriedades conexas.

A quebra da periodicidade cristalina impede a definição do número quântico k associado ao momento eletrônico. Ou seja, a função de onda do elétron não é mais o produto de uma onda plana $\exp(i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r})$ modulada em amplitude com a periodicidade da rede (função de Bloch). Com efeito, para uma estrutura suficientemente desordenada os fenômenos de espalhamento são tão freqüentes que o livre caminho médio (ℓ) do elétron pode ser relativamente pequeno e novos fenômenos podem acontecer, tais como a localização (2). Em outras palavras, quando $\ell k \sim 1$, k não é um bom número quântico. Consideremos um modelo unidimensional de poços de potencial equiespaçados apresentando uma dispersão $\pm V_0$ na profundidade. Anderson mostrou que neste caso a função de onda do elétron pode ser localizada ou estendida dependendo da relação V_0/B , onde B é a largura de banda de estados permitidos associada aos níveis nos poços.

A quebra das regras de conservação de k nas transições ópticas faz com que a absorção nos semicondutores amorfos seja superior à dos cristalinos. Esta propriedade é benéfica na fabricação de dispositivos, por exemplo, células solares, que podem ser feitos a partir de camadas finas.

Embora a ordem de longo alcance não exista nos semicondutores amorfos, a ordem a curto alcance é mantida. Weire e Thorpe mostraram que os aspectos fundamentais da estrutura de bandas de um material estão presos à estrutura de ligação entre primeiros vizinhos (3). Por exemplo, no silício amorfo, cada átomo de Si está também ligado tetraedricamente a outros quatro átomos de Si. Estas ligações são orbitais híbridas do tipo sp^3 cujo estado ligante fornece a banda de valência e cujo estado antiligante a banda de condução, de maneira semelhante ao cristal Si. A diferença importante provém dos fatos se-

guintes: a) Distorções nos comprimentos das ligações e nos ângulos entre ligações, devido à desordem, produzem estados localizados perto dos extremos das bandas. São as chamadas caudas exponenciais de estados localizados; b) O número de coordenação do Si é 4, ou seja, o número de vínculos (ligações e ângulos) é maior que o número de graus de liberdade. Isto significa que uma rede amorfa de Si não poderá preencher completamente o espaço e aparecerão necessariamente orbitais não satisfeitos (dangling bonds), que são de fato orbitais não-ligantes, que produzem estados eletrônicos no meio do hiato energético entre as duas bandas.

Uma das conseqüências da existência de altas densidades de estados eletrônicos no hiato energético é a impossibilidade de drogar. No caso do silício amorfo hidrogenado, a situação é outra. O hidrogênio vem passar os orbitais pendentes e os estados não ligantes desaparecem. Ou seja, o hidrogênio limpa o "gap" do material e efeitos de dopagem são agora possíveis. Pequenas contaminações com fósforo ou boro, da ordem de partes por milhão, produzem variações de várias ordens de grandeza na condutividade.

Existem duas grandes categorias de semicondutores amorfos: os vidros calcogêneos e os de coordenação tetraédrica. Só estes últimos podem ser preparados como materiais eletrônicos no sentido de que a condutividade pode ser modulada por impurezas. Os calcogêneos são usados em outras aplicações, em particular, o selênio é o material clássico da eletrofotografia. Dentre os semicondutores amorfos da segunda categoria, além do a-Si:H, muita atenção tem sido dada ao estudo de ligas tais como silício-carbono, silício-nitrogênio, silício-germânico, etc., que têm aplicações interessantes na micro e optoeletrônica.

Na última década tem havido enormes avanços na compreensão das propriedades dos semicondutores amorfos. Apesar de constituírem hoje uma das fronteiras da física do estado sólido, existem já muitas aplicações industriais e grandes perspectivas de uso. As características mais interessantes do ponto de vista industrial são:

- Podem se fabricar materiais de uso eletrônico;
- Geralmente são depositados, à baixa temperatura, filmes finos de espessura controlável ($+ 10 \text{ \AA}$);
- Podem ser usados substratos baratos (vidros, plásticos, etc);
- Os processos de fabricação são contínuos e podem se depositar grandes áreas;
- Finalmente, como os materiais são depositados longe das condições de equilíbrio termodinâmico, há possibilidades de fabricar semicondutores com propriedades variáveis e variadas.

A tabela a seguir mostra alguns exemplos de aplicações industriais dos semicondutores amorfos.

Material Representativo	Aplicação	Propriedades especiais aproveitadas
Se, As_2Se_3	Xerografia (eletrofotografia)	Fotocondutividade Depos. de grandes áreas
$\text{Te}_{0,8}\text{Ge}_{0,2}$	Memórias para Computador	Transição amorfo \leftrightarrow cristalino induzida por um campo elétrico
$\text{Si}_{0,9}\text{H}_{0,1}$ e outras ligas de Si e Ge	Células solares	Prop. fotovoltaicas Depos. de grandes áreas

$\text{Si}_{0.9}\text{H}_{0.1}$	Xerografia Thin Film Transistors Sensores de pressão Vidicon	Fotocondutividade Prop. Eletrônicas Preço eletricidade Fotocondutividade
$\text{Si}_{0.6}\text{C}_{0.3}\text{H}_{0.1}$	Diodos Eletrolumi- nescentes	Prop. Eletrônicas
$\text{Sn}_x\text{In}_y\text{O}_z$	Memórias ópticas p/ computador	Transição amorfo ↔ cristalino induzido por um feixe de luz

No Brasil, existe pesquisa experimental em semicondutores amorfos no Instituto de Física da UNICAMP, no Laboratório de Microeletrônica da USP e no Departamento de Metalurgia da COPPE-UFRJ.

No laboratório de pesquisas da UNICAMP, temos desenvolvido as tecnologias de (1) células solares de silício amorfo hidrogenado (importante perspectiva na geração de eletricidade solar em grande escala); (2) diodos eletroluminescentes de carbeto de silício amorfo hidrogenado (emissão de luz visível de cor ajustável, importante perspectiva na substituição de tubos de raios catódicos por telas planas para televisão); (3) materiais amorfos para memórias ópticas de alta densidade (leitura e escrita com laser semicondutor de baixa potência de cartões com densidade de 2 Mbytes); (4) ligas de semicondutores amorfos de hiato energético variável com possíveis aplicações na área de sensores.

Existem pesquisas teóricas na UNICAMP, USP, UFRJ, PUC-Rio, UFF, etc. Elas se referem à estrutura eletrônica de semicondutores elementares e ligas, bem como, à densidade de estados vibracionais. Recentemente, ficou demonstrada a possibilidade de se fabricar superredes amorfas, nas quais fenômenos semelhantes aos observados nas superredes cristalinas, tais como, tunelamento ressonante, efeitos ópticos e separação de portadores por modulação de dopagem, puderam ser constatados.

REFERÊNCIAS

1. W.E. Spear and P.G. Le Comber, Solid State Comm. **17** (1975) 1193.
2. P.W. Anderson, Phys. Rev. **109** (1958) 1492.
3. D. Weire and M.F. Thorpe, Phys. Rev. B, **4** (1971) 2508.

IMPUREZAS EM SEMICONDUTORES: O ENFOQUE TEÓRICO

M.J. Caldas – Instituto de Física da USP.

O estudo de impurezas ou defeitos pontuais em semicondutores é certamente impulsionado pela necessidade tecnológica, e como tal envolve um grande esforço de física básica experimental. O atrativo do problema para o físico teórico é também muito claro: sendo uma atividade que exige modelos, dada a complexidade dos sistemas tratados, é um campo adequado para o exercício do jogo de aproximações versus embasamento teórico rigoroso, excelente para conseguirmos uma visão mais informativa da Natureza. Além disso, é uma área onde a física teórica e a experimental se entrelaçam constantemente, permitindo o teste quase imediato de modelos e previsões teóricas, exigindo por sua vez da teoria, modelos e explicações convincentes.

A particularidade e parte da dificuldade do problema está na sua dualidade: um ou poucos átomos (caráter local) interagindo com o resto do cristal (caráter estendido). No estudo de um semicondutor cristalino perfeito, o interesse está em propriedades coletivas (éxcitons, fônons, etc.) e o efeito do número enorme de átomos envolvidos é absorvido pelo uso da simetria translacional da rede cristalina, através da aproximação de Bloch. Já na presença de uma impureza, a simetria translacional é quebrada, mesmo em semicondutores “puros” que apresentem defeitos de estequiometria (ver figura 1). Se de um lado precisamos informações sobre o comportamento local do sistema, na vizinhança imediata ao defeito, é da maior importância relacionar esses dados aos efeitos sobre as propriedades de volume do material: condutividade, absorção ótica, etc.

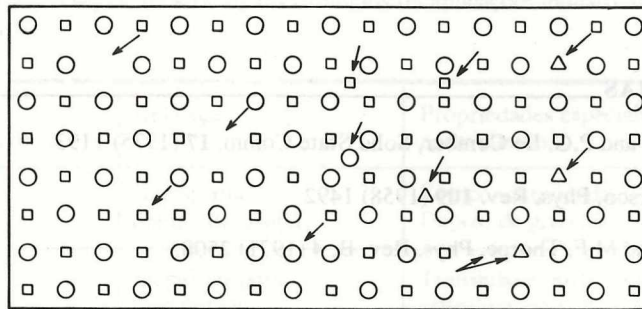


Fig. 1 – Defeitos Pontuais em uma rede cristalina são aqueles que se restringem a uma pequena região do sólido, em termos de células unitárias. Nesta representação esquemática de um cristal AB($\circ \square$) a rede é quadrada, e são mostrados diversos tipos de defeitos nativos ou de este-

quiometria: *vacância* (ausência de um átomo na sua posição regular), *antisítios* (presença de um átomo do cristal em posição regular da subrede “errada”), *autointersticiais* (presença de um átomo do cristal, mas fora de posição regular, em um interstício); Em uma rede heteropolar AB esses defeitos podem ser de cátion ou de ânion, como indicado. *Impurezas* (Δ) são átomos estranhos ao cristal, que podem entrar substitucionalmente a um átomo regular, cátion ou ânion, ou também intersticialmente. Em geral esses tipos todos coexistem em um semicondutor, mas em pequeníssimas concentrações de modo que um defeito não “enxerga” o outro (as propriedades do material são determinadas pelas concentrações relativas). Em certos casos ocorre a *agregação de defeitos*, em pares ou outros arranjos: aparecem as divacâncias, ou pares impureza-defeito nativo, etc. Além disso, os átomos do cristal na vizinhança do defeito são reorganizados, relaxando ou distorcendo a rede localmente para aliviar as tensões e minimizar a energia.

O defeito é introduzido, detectado, eliminado ou estudado experimentalmente por uma grande variedade de técnicas, algumas desenvolvidas para um tipo particular de impureza (ver outros artigos neste número). Essa especificidade é justificada pelo interesse tecnológico: pequeníssimas concentrações de impurezas assim chamadas “rasas” (como por exemplo 0.01ppm de fósforo em silício) virtualmente não afetam a estrutura de faixas, mas podem alterar em ordens de magnitude a condutividade do semicondutor (de $\sim 4 \times 10^{-6}$ a $\sim 10 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$). Esse efeito extremamente útil é conhecido pelo anglicismo “dopagem” (“doping”): tipo *n*, quando a impureza carrega um elétron facilmente injetável na faixa de condução; ou tipo *p*, quando a impureza cria facilmente um “buraco” – retira um elétron – na faixa de valência. Em ambos os casos (ver figura 2a), há introdução de um estado acessível (estado ligado) na faixa proibida (“gap”) do cristal, muito próximo a uma das faixas permitidas, e por isso a denominação “raso”. Esses estados são em geral bastante estendidos ($\sim 50\text{-}100 \text{ \AA}$ de raio médio) e no mais as faixas sofrem alterações muito pequenas.

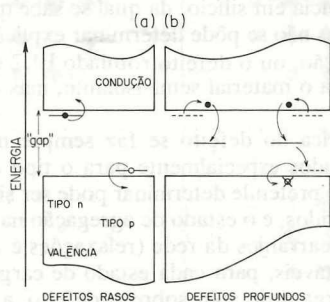


Fig. 2 – Defeitos rasos e profundos. Alguns defeitos podem introduzir níveis na faixa proibida (“gap”) do semicondutor. (a) Esses níveis podem ser rasos, ou seja, muito próximos de uma das bordas do “gap”. Se a esses níveis corresponderem funções de onda espalhadas, eles podem doar um portador de carga para as faixas: um elétron (\bullet) (círculo escuro) aos estados de condução (doadores) ou um buraco (\circ) (círculo claro) para os de valência (aceitadores). (b) Níveis *profundos* são introduzidos mais no meio do “gap” e são usualmente bem localizados ($\sim 60\%$ de carga em um raio de poucas –duas ou três– constantes de rede). Tais estados capturam portadores e, ou mantêm-nos “presos” (“traps”), ou podem fazer recombinar elétrons e buracos. Defeitos rasos são geralmente impurezas “parecidas” com os átomos do cristal – como, por exemplo, vindos de colunas vizinhas na tabela periódica: fósforo em silício, silício em arseneto de gálio. Defeitos profundos são vacâncias e antisítios, agregados em geral, ou átomos de impureza muito diferentes dos do hospedeiro –metais de transição, por exemplo, com a camada *d* incompleta, em materiais s-p como o silício e os semicondutores III-V e II-VI.

A atividade dos defeitos rasos introduzidos como dopantes pode, entretanto, ser neutralizada ou “compensada” por concentrações ainda muito menores de defeitos “profundos” (ex: a vacância de silício, o cromo substitucional em arseneto de gálio). Esses defeitos podem ser armadilhas de portadores de carga, por criarem estados acessíveis extremamente localizados (ver figura 2b) dos quais o elétron ou buraco, uma vez capturados, têm probabilidade muito pequena de escapar para estados itinerantes das faixas. Também é comum que esses estados funcionem como catalisadores da recombinação de um elétron e um buraco, aniquilando dois portadores. Enfim, defeitos profundos são normalmente indesejáveis; pode ocorrer, entretanto, que exatamente essas propriedades sejam necessárias, como, por exemplo, para alguns detetores ou sensores óticos, dispositivos de tempo de resposta curto ou para a preparação de substratos semi-isolantes.

A preparação de amostras e sua caracterização (identificação do tipo de impurezas presentes) podem ser feitas de muitas maneiras (ver outros artigos neste número), e a caracterização envolve sempre mais de uma técnica, de modo a que tenhamos ao final a “impressão digital” do defeito: os elementos químicos envolvidos; a localização e os estados de carga referentes aos níveis introduzidos na faixa proibida, e perturbações na faixa de valência; o fator giromagnético, o spin do centro e o padrão de ressonância magnética; os espectros de absorção/emissão eletromagnética para os diferentes estados da carga (infravermelho, visível, . . .); a dependência de todos os efeitos acima com pressão e temperatura.

Quando todos esses dados estão disponíveis para uma mesma amostra é possível rotular e na maioria das vezes identificar o centro de defeito. Nem sempre todos os dados são conhecidos ou existem para uma determinada impureza, e, em alguns casos, mesmo quando muitas técnicas são utilizadas, os dados não são suficientes para elucidar o comportamento e a composição do defeito [Exemplos típicos são os doadores térmicos em silício, que se sabe estarem relacionados com impurezas de oxigênio, mas até o momento não se sabe de que forma; a vacância em silício, da qual se sabe que provoca distorções na rede, se sabe como distorce, mas não se pôde determinar explicitamente o porquê da escolha específica do modo de distorção; ou o defeito rotulado EL2 em arseneto de gálio, extensivamente estudado, que torna o material semi-isolante, mas do qual não se sabe ao certo sequer a composição].

A investigação teórica do defeito se faz sempre necessária, e é desenvolvida também por métodos desenhados especialmente para o tipo de defeito e de propriedade que se quer estudar. O que se pretende determinar pode ser sistematizado como segue: (a) Os elementos químicos envolvidos, e o estado de agregação na rede; (b) A configuração de mais baixa energia quanto a rearranjos da rede (relaxações e distorções) e a existência ou não de configurações metaestáveis, para cada estado de carga do centro; (c) A estrutura eletrônica: distribuição de carga e de spin sobre o defeito, a perturbação causada na estrutura de faixas; os estados de carga presentes na faixa proibida e os respectivos níveis de ocupação (fig. 2); energias de transição interna e de ionização, seções de choque de captura/emissão de portadores, etc.; (d) As energias de formação do defeito e os processos de dissociação e migração; (e) Outros efeitos como estrutura vibrônica, interação com fônons da rede, etc.

As energias com que tratamos nos itens acima variam de ~ 30 meV a ~ 30 eV. Podemos dizer que também a complexidade do estudo teórico varia de ordens de grandeza segundo o efeito que se queira investigar, e o rigor com que o estudo é encaminhado.

O procedimento normal é que uma vez escolhido um modelo microscópico para a estrutura do centro (item a), o estudo continue pela determinação da estrutura eletrônica (item c) para alguma configuração. Algum método é selecionado para determinação da configuração mais estável (item b), que em geral pode ser estendido para estimativa (é o máximo que se consegue no momento) dos processos de migração e formação (item b). A

ordem de rigor e precisão possíveis no estudo decresce neste caminho desde dezenas de meV até alguns eV, e tem sido suficiente para elucidar muitos dos quebra-cabeças colocados pelo físico experimental.

A investigação e obtenção da estrutura eletrônica, por sua vez, pode ser tratada com diferentes graus de aproximação. Defeitos rasos, para os quais a função de onda do estado ligado deve ser espalhada, e bastante parecida com estados itinerantes do hospedeiro, o modelo utilizado é o da Massa Efetiva: o “átomo hidrogenóide” mediado pela constante dielétrica do cristal, sendo o elétron (ou buraco) “vestido” por uma massa efetiva que traduz a mobilidade do portador na (respectiva) faixa. Esse modelo pode também levar em conta a identidade química do defeito e características de simetria do cristal hospedeiro, e tem fornecido resultados muito precisos inclusive para estados excitados.

No caso de defeitos profundos, o trabalho é bastante dificultado pelo alto grau de localização da função de onda do estado ligado e perturbações nas faixas: torna-se impraticável construir uma descrição razoável de tais estados por expansão em estados do hospedeiro. Os métodos teóricos tentam então explorar exatamente o caráter localizado, focalizando a atenção em uma região finita do cristal em torno e incluindo o defeito, de preferência a menor possível. Essa região define um “aglomerado” de átomos do hospedeiro mais impurezas, que é estudado com diferentes graus de aproximações. A ligação do aglomerado com o resto do cristal se faz de maneiras também diversas (figura 3).

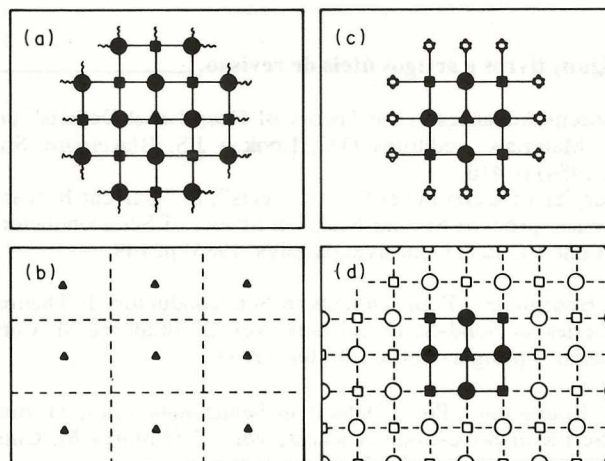


Fig. 3 – Estudo Teórico de Defeitos Profundos. (a) O modelo do defeito é simulado escolhendo-se um certo pedaço do cristal em torno do defeito: um *aglomerado* (●■▲). O problema de como tratar a superfície do aglomerado – os átomos de fronteira que teriam ligações não saturadas – é resolvido usualmente por um dos seguintes procedimentos: (b) condições periódicas de contorno: cria-se uma superestrutura cristalina, um “cristal de defeitos”; (c) as ligações dos átomos de fronteira são refeitas pela colocação de átomos saturadores (*), que devem simular o resto do cristal e estabilizar o aglomerado; (d) o aglomerado é incrustado no resto do cristal (○□) que é mantido “rígido” em todos os aspectos.

Existem vários problemas em aberto nessa área, como se depreende do descrito aqui, do qual pretendo citar apenas uns poucos. Nos vários níveis de discussão, começo pelos problemas mais gerais do estudo da estrutura eletrônica de sistemas de muitos elétrons, inevitáveis neste campo. Outros mais específicos envolvem, por exemplo, a inclusão de efeitos térmicos: toda a sistemática de estudo até hoje traz implícita, em geral, a aproximação estática de temperatura absoluta nula. Em um nível ainda mais específico, existem os centros rotulados, mas ainda não completamente identificados, que exigem atenção concentrada de físicos teóricos e experimentais.

Existem no momento vários grupos formados ativos nessa área de pesquisa no Brasil, em Minas Gerais (UFMG), Rio de Janeiro (PUC-RJ), São Paulo (UNICAMP, USP-SP), para citar alguns. Entretanto, a pesquisa não se restringe a esses grupos, havendo pesquisadores trabalhando em teoria de defeitos em semicondutores em praticamente todas as universidades do país.

A atividade neste campo, no mundo, pode ser julgada pelo número de conferências internacionais realizadas a cada ano, a par da conferência tópica "International Conference on Defects in Semiconductors" realizada bienalmente, e que contou no último encontro (a 14ª Conferência em Paris) com mais de 300 cientistas entre teóricos e experimentais.

Bibliografia: alguns livros e artigos úteis de revisão.

- G.A. Baraff: "Recent Advances in the Theory of Deep Level Defects" in "Semi-Insulating III-V Materials" (editores D.C. Look e J.S. Blakemore, Shiva Publ. Ltd., Nantwich, 1984) p. 416;
"Total Energies of Deep Level Point Defects", in "Current Research in Semiconductor Physics: proc. of Second Brazilian School of Semiconductor Physics" (editores J.R. Leite e C.E.T. Gonçalves da Silva, 1985) p. 149.
- M. Lannoo e J. Bourgouin: "Point Defects in Semiconductors I: Theoretical Aspects", Springer Series in Solid-State Sciences, vol. 22 (editores M. Cardona, P. Fulde e H.J. Queisser, Springer-Verlag, Berlin, 1981).
- M. Lannoo e J. Bourgouin: "Point Defects in Semiconductors I: Theoretical Aspects", Springer Series in Solid-State Sciences, vol. 22 (editores M. Cardona, P. Fulde e H. J. Queisser, Springer-Verlag, Berlin, 1981).
- S.T. Pantelides: "The Electronic Structure of Impurities and other Point Defects in Semiconductors", Rev. Mod. Phys. **50**, 797 (1978).
- M. Schluter: "The Role of Theory in Defect Physics", Mat. Res. Soc. Symp. Proc. **46**, 61 (1985);
"Density Functional Theory of Localized Defects in Semiconductors", in "Third Brazilian School of Semiconductor Physics" (editores C.E.T. Gonçalves da Silva, L.E. Oliveira e J.R. Leite, World Scientific Publ. Co., Singapura, 1987) p. 196.
- A.M. Stoneham: "Theory of Defects in Solids" (Clarendon, Oxford, 1975).

- F. Ynduráin: "Impurities in Semiconductors: Total Energy and Infrared Absorption Calculations" in "Third Brazilian School of Semiconductor Physics" (editores C.E.T. Gonçalves da Silva, L.E. Oliveira e J.R. Leite, World Scientific Publ. Co., Singapura, 1987) p. 179.
- A. Zunger: "Electronic Structure of 3d Transition Atom Impurities in Semiconductors" in Solid State Physics vol. 39 (editors H. Ehrenreich e D. Turnbull, Academic, N. York,) p. 275.

“SEMICONDUCTORES SEMIMAGNÉTICOS”

Gilmar Eugênio Marques – Departamento de Física UFSCar

I – INTRODUÇÃO

Desde 1977, quando Komarov(1) publicou a primeira observação de aumento gigantesco dos efeitos magneto-ópticos (fator giro-magnético e rotação de Faraday) em amostras mono-cristalinas de Cd(Mn)Te, pode-se constatar um enorme interesse nas propriedades elétricas e ópticas de uma classe de material semiconductor, onde propriedades magnéticas e semicondutoras estão presentes ao mesmo tempo, com as primeiras influenciando fortemente as segundas. Estes materiais são hoje conhecidos como “Semicondutores Semimagnéticos” ou “Semicondutores Magnéticos Diluídos”.

Muito rapidamente e quase simultaneamente, formaram-se vários grupos de pesquisa dedicados especificamente ao crescimento, estudo e caracterização destes materiais. Para citar apenas alguns dos mais conhecidos grupos e, provavelmente, os seus atuais líderes temos: em Moscou (N.B. Brandt), em Varsóvia (R.R. Galaska e A. Mycielski) em Indiana (J.K. Furdyna), em Providence (A.V. Nurmikko). Várias outras pessoas já contribuíram para melhorar o conhecimento de propriedades físicas destes materiais, e neste pequeno espaço seria impossível enumerá-las. Existe, contudo, uma excelente revisão de quase todos os aspectos incomuns nesta classe, por N.B. Brandt(2), onde uma completa bibliografia sobre propriedades de “bulk” pode ser encontrada.

No Brasil, algumas poucas pessoas vêm, há algum tempo, dedicando-se aos aspectos teóricos destes materiais e pode-se citar: Prof. Cylon Gonçalves da Silva (Unicamp), Prof. Gilmar Eugênio Marques (UFSCAR); Prof. Adalberto Fazzio (IFUSP-SP). Existe informação de que, conhecidos grupos de pesquisa nas áreas de impurezas em semicondutores e estrutura eletrônica, sediados na IFUSP, UFMG e Unicamp, têm planos ou já estão se dedicando ao estudo de impurezas magnéticas em compostos II-VI. Na parte experimental podemos citar, Prof. M. Novak (UFRJ) que realiza medidas de calor específico e susceptibilidade magnética, em estreita colaboração com um grupo de Salt Lake City. Já tendo dominado a técnica de crescimento de cristais de Pb(Sn)Te, material semimagnético usado em detectores na faixa de 10 microns, pode-se citar os Profs. Chen Ying An(INPE) e Irará N. Bandeira(INPE). Outros grupos, especialistas em várias técnicas de crescimento de cristais (IFQSC-USP) e LPD(Unicamp) têm planos de desenvolvimento de crescimento de compostos cristalinos II-VI.

II – O QUE É UM SEMICONDUTOR SEMIMAGNÉTICO?

Semicondutores semimagnéticos são, em sua grande maioria, compostos ternários formados por um elemento metálico do grupo II (Cd, Zn ou Hg), um elemento não-metálico do grupo VI (mais usados são Se, Te e S) e um íon com grande momento angular intrínseco (os mais usados atualmente são Mn[3d5], Fe[3d6] e Eu[4f7]), substituindo,

aleatoriamente, o elemento metálico na rede cristalina. Exemplos típicos são Cd(Mn)Te, Hg(Mn)Se, Hg(Mn)Te, Zn(Mn)Te, Hg(Fe)Te. Alguns semimagnéticos envolvem outras combinações ternárias, como por exemplo, Pb(Mn)Te, Sn(Mn)Te, Pb(Sn)Te e Cd(Mn)Te além de uns poucos quaternários, crescidos com sucesso, como Cd(Zn)(Mn)Te(3) e Hg(Cd)(Mn)Te(4). A grande maioria deles se cristalizam ou em rede cúbica(fcc) com simetria "zincblende" ou em rede hexagonal(hcp) com simetria "wurtzite". A substituição do elemento metálico, chega a atingir concentrações muito altas (75% em Zn(Mn)Te e 70% em Cd(Mn)Te) e ainda se obtém mono-cristais macroscópicos de alta qualidade cristalina.

Os spins (momentos magnéticos localizados) de dois íons magnéticos vizinhos, nestes compostos, apresentam um acoplamento antiferromagnético. Esta tendência de alinhamento dos spins localizados nos sítios cristalinos, combinada com uma desordem devido à substituição aleatória do íon metálico, afeta fortemente as propriedades elétricas do semiconductor, e é responsável por efeitos magnéticos interessantes. Nestes materiais são comumente observados fator giromagnético gigantesco ($g=200$), rotação de Faraday da ordem de 3600 */cm/KOe , magneto-resistência aumentada de um fator 100 quando comparada com o composto binário e "splitting" Zeeman variável, com campo magnético externo e/ou temperatura, de até 20 meV (150/cm). Além disso, e em consequência do caráter antiferromagnético do acoplamento entre íons magnéticos, são observadas uma transição de fase paramagnética-spin glass, em baixas temperaturas e baixas concentrações do íon magnético e uma transição de fase paramagnética-antiferromagnética em altas concentrações. Desta maneira, esta classe de materiais, pode se tornar um verdadeiro laboratório para as pessoas da área de Mecânica Estatística, com interesse em transições de fase.

Do ponto de vista puramente teórico, esta classe de material, com interfaces multidisciplinares, ainda é um campo onde muitas questões básicas estão sem respostas definitivas, como, por exemplo, o caráter (RKKY, Super-exchange ou Bolebergen-Rowland) do acoplamento magnético entre íons e seus efeitos imediatos na magnetização das amostras e, em especial, daquelas com estrutura multi-camadas do tipo super-redes.

Do ponto de vista tecnológico, muitos destes efeitos têm aplicações práticas importantes como: Lasers e detectores sintonizáveis através do ajuste do campo magnético e/ou da temperatura, construção de instrumentos ópticos não-recíprocos, polarizadores, etc. Estas aplicações, certamente, poderão ser melhor exploradas com o também recente aprimoramento de crescimento de cristais por técnicas epitaxiais como Molecular Beam Epitaxy(MBE), Chemical Beam Epitaxy(CBE) ou Metal-organic Chemical Vapor Deposition(MOCVD).

É importante salientar que muitos governos (principalmente USA e URSS) consideram os compostos binários do grupo II-VI (como HgTe e CdTe) materiais estratégicos. Sendo os semimagnéticos mais versáteis e concorrentes dos binários para aplicações tecnológicas "classificadas", principalmente na fabricação de detectores-IV de uso militar e detectores na faixa de 10 microns (satélites espiões) prevê-se igual tratamento. Conseqüentemente pode-se esperar uma diminuição ou pelo menos uma filtragem nas publicações contendo informações importantes a respeito destes compostos num futuro próximo.

Para finalizar, o autor gostaria de deixar claro que não teve tempo suficiente, e nem é o objetivo deste boletim, realizar uma pesquisa profunda que visasse catalogar "todas" as pessoas que trabalham com estes materiais e assim deseja, sinceramente, desculpar-se por todas as possíveis omissões de pessoas, grupos ou Instituições.

III – REFERÊNCIAS

- (1) A.V. Komarov, S.M. Rjabchenko, O.V. Terletskii, I.I. Zheru e R.D. Ivanchuck: Zh. Eksp. Teor. Fiz., 73, 108 (1977).
- (2) N.B. Brandt e V.V. Moshchalkov: Advanc. Phys. pág. 246 (1984).
- (3) A. Manoogian, B.W. Chan, R. Brun del Re, T. Dofrio e J.C. Wooley J. Appl. Phys. 53, 8934 (1982).
- (4) R. Kim, Y. Mita, S. Takeyama e S. Narita, Lect. Notes Phys. 152, 316 (1982).

LIGAS METAESTÁVEIS DE SEMICONDUTORES: CRESCIMENTO EPITAXIAL DE NOVOS MATERIAIS

Belita Koiller – Departamento de Física – PUC/RJ

O desenvolvimento e aperfeiçoamento recente de técnicas, tais como, epitaxia por feixe molecular (MBE) e deposição química por fase vapor utilizando organometálicos (MOCVD), viabilizou a fabricação de cristais e heterojunções de materiais semicondutores de alta qualidade. Graças a esta possibilidade, as heterojunções dominam atualmente as inovações tecnológicas em termos de dispositivos semicondutores, pois praticamente todos os dispositivos de homojunção podem ser melhorados através da incorporação de heteroestruturas. O desenvolvimento de componentes eletrônicos sofisticados demanda também a busca de novos materiais cujas características atendam ao padrão de desempenho pretendido.

Os “gaps” de energia e o ajuste dos parâmetros de rede são grandezas relevantes para a escolha dos materiais a serem utilizados numa heterojunção. Os “gaps” de energia determinam as propriedades óticas e de transporte dos portadores através da heterointerface, ou seja, as características de funcionamento dos dispositivos a nível eletrônico e ótico. Do ponto de vista de fabricação das heterojunções, o ajuste dos parâmetros de rede é fundamental a fim de evitar defeitos (dislocações por exemplo) e tensões na rede cristalina. Entre os compostos ordenados III – V, Al As / Ga As, Al Sb / Ga Sb, In As / Ga As apresentam um ajuste de rede quase perfeito.

A combinação de materiais mais amplamente utilizada no contexto de dispositivos opto-eletrônicos é $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ / Ga As, variando a composição de liga numa região $0 < x < 0.4$ em que o “gap” do sistema permanece direto, o que torna em várias circunstâncias a liga vantajosa sobre Al As que tem “gap” indireto. A utilização de ligas amplia enormemente as possibilidades de escolha das propriedades eletrônicas dos materiais semicondutores uma vez que o “gap” e o parâmetro de rede variam continuamente com a composição. Em $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, o “gap” varia de 1.4 a 1.8 eV para $0 < x < 0.4$.

Ligas metaestáveis do tipo $(\text{III-V})_{1-x}(\text{IV}_2)_x$, tais como, $(\text{Ga As})_{1-x}(\text{Si}_2)_x$, $(\text{Ga As})(\text{Ge}_2)_x$, $(\text{Ga Sb})_{1-x}(\text{Ge}_2)_x$ e $(\text{Ga Sb})_{1-x}(\text{Sn}_2)_x$ foram fabricadas recentemente por Greene e colaboradores (1) através de deposição por “sputtering” sobre substrato de Ga As. Entre estas ligas, $(\text{Ga As})_{1-x}(\text{Ge}_2)_x$ é a mais amplamente estudada, tendo sido também fabricada por técnicas de MOCVD (2) e MBE (3).

O interesse tecnológico nas ligas de Ga As com Ge deve-se ao ajuste perfeito (a menos de 1%) dos parâmetros de rede dos componentes, e à variação do “gap” ótico de energia na faixa de interesse para dispositivos opto-eletrônicos. Deve-se notar ainda que o “gap” permanece direto para $0 < x < 0.75$, sendo a variação do mesmo de 1.4 a 0.5 eV nesta faixa.

A dificuldade na fabricação destas ligas está no fato de elas serem metaestáveis. O estado fundamental do sistema consistiria em domínios macroscópicos de Ga As e de Ge, ou seja, os componentes da liga tendem a segregar. No entanto, uma vez formada a liga metaestável à temperatura ambiente, seu tempo de vida é da ordem de 10^{29} anos, o que se deve ao valor muito baixo das constantes de auto-difusão dos materiais III-V. As con-

dições de crescimento que permitem a fabricação de ligas metaestáveis devem necessariamente inibir a separação de fase através de mecanismos tipo “quenching”. As amostras fabricadas por MBE, por exemplo (3), apresentam separação em domínios para temperatura de crescimento $T_s = 550^\circ\text{C}$, enquanto permanecem homogêneos na fase metaestável para $T_s = 430^\circ\text{C}$.

Um dos aspectos de interesse nestas ligas é a transição de simetria zinc-blende – diamante que ocorre a uma concentração crítica x_c de Ge. A estrutura cristalina do diamante é constituída de duas sub-redes cúbicas de face centrada deslocada, de modo que os vizinhos mais próximos de cada sítio de uma das sub-redes pertencem à outra sub-rede. A simetria “zinc-blende”, do Ga As, por exemplo, consiste na ocupação diferenciada das sub-redes por Ga e As respectivamente. Na simetria diamante as sub-redes são ocupadas igualmente, como no caso do Ge puro.

A transição zinc-blende – diamante em $(\text{Ga As})_{1-x}(\text{Ge}_2)_x$ é tal que para $x < x_c$, a simetria do sistema permanece zinc-blende, ou seja, Ga e As ocupam preferencialmente suas respectivas sub-redes (ordem de longo alcance). A partir de $x = x_c$ ocorre um desordenamento ocupacional do sistema o qual apresenta Ga e As indistintamente nas duas sub-redes.

A verificação experimental da transição zinc-blende – diamante foi realizada por técnicas de microscopia eletrônica (3) em $(\text{Ga As})_{1-x}(\text{Ge}_2)_x$ e por difração de raios-X (4, 5) em $(\text{Ga Sb})(\text{Ge})$. Verificou-se que o valor de x depende do plano de crescimento, sendo que, para crescimento epitaxial na superfície (100), $x_c = 0.3$.

O fato de que o valor de x_c depende do plano de crescimento e de que é o mesmo para ligas de Ga As e Ga Sb sugeriu a formulação de modelos de crescimento para estas ligas metaestáveis (4, 5), que explicam qualitativamente a transição ordem-desordem. O postuladado básico destes modelos é de que, durante o crescimento, não se formam pares Ga – Ga ou As – As, sendo a formação dos demais pares (Ga – As, Ga – Ge, As – Ge e Ge – Ge) permitida sem restrições. A abundância relativa dos pares permitidos é dada simplesmente pela concentração das diferentes espécies na câmara de crescimento.

Paralelamente aos modelos de crescimento, foram sugeridos modelos termodinâmicos (6) para a transição ordem-desordem nestas ligas. A energia eletrônica para esta liga é representada por um Hamiltoniano de spin, $S = 1$, tipo Ising, e as interações entre as espécies são tratadas como parâmetros no cálculo. Como resultado, obtém-se sempre um número macroscópico das chamadas ligações “erradas” Ga – Ga e As – As.

Fica evidente a interdependência entre (i) a ordem de curto alcance na distribuição atômica em $(\text{Ga As})_{1-x}(\text{Ge}_2)_x$, (ii) o ordenamento de longo alcance e (iii) as propriedades eletrônicas destas ligas. Informações a respeito das energias eletrônicas efetivas de interação entre as diferentes espécies atômicas é crucial na avaliação dos diferentes modelos de ordenamento neste sistema.

Neste sentido, estamos realizando cálculos da energia eletrônica de $(\text{Ga As})_{1-x}(\text{Ge}_2)_x$ em função do grau de ordem de curto alcance nestas ligas. Os resultados podem ser parametrizados em termos de energias de interações de pares que independem do grau de ordenamento tanto de curto quanto de longo alcance dos materiais e são consistentes com energias de formação de defeitos calculadas anteriormente. Isto vem a confirmar a validade de Hamiltonianos, tipo Ising, para estes sistemas. Estes estudos vêm se realizando numa colaboração entre a PUCRJ (M.A.M. Davidovich e B. Koiller) a UNB (R. Osório) e a Universidade Johns Hopkins (M. O. Robbins).

Nossos cálculos permitem uma análise crítica tanto do modelo termodinâmico quanto do modelo de crescimento proposto para a transição zinc-blende – diamante observada nestas ligas. A temperatura de transição calculada dentro do modelo termodinâmico a partir das energias de interação de pares é extremamente alta em relação às tempera-

turas de preparação das amostras, indicando que o mecanismo responsável pela estrutura observada está associada à cinética de crescimento das ligas.

Com relação aos modelos de crescimento, eles assumem implicitamente uma energia de interação infinita entre os pares Ga – Ga e As – As, e todas as outras energias de interação de pares são supostas finitas e equivalentes. Isto fornece necessariamente uma distribuição aleatória de Ge na liga. A partir de nossos cálculos para as energias de interação de pares, pode-se afirmar que não é compatível proibir pares Ga – Ga ou As – As e ao mesmo tempo tratar Ge aleatoriamente.

Ainda na PUCRJ (G. Preger, C.M. Chaves e B. Koiller) estamos realizando simulações do crescimento epitaxial destas ligas que mostram que a transição ordem-desordem desaparecem rapidamente ao se permitir a formação dos pares “errados” Ga-Ga e As-As. Por outro lado, simulações mais realistas que incorporam a correlação do Ge apresentam um excelente ajuste para os resultados experimentais do parâmetro de ordem em função da composição das ligas.

Em resumo, temos realizado cálculos que acoplam propriedades eletrônicas com ordenamento de curto e longo alcance, bem como, com modelos de crescimento epitaxial em semicondutores. O estudo teórico de ligas semicondutoras, em geral, vem ainda sendo realizado por pesquisadores e grupos na USP, na UFF e na UFRN, sendo analisados aspectos eletrônicos, elásticos, vibracionais e estatísticos. Nossa expectativa é de que este trabalho possa também vir a contribuir em problemas específicos encontrados por grupos no país que se dedicam à fabricação epitaxial de semicondutores dopados e ligas semicondutoras.

REFERÊNCIAS

- (1) J.E. Greene, J. Vac. Sci. Technol. 1, 229 (1983) e referências aí contidas.
- (2) Zh.I. Alferov, M.Z. Zhingarev, S.G. Konnikov, I.I. Mogan, V.P. Ulin, V.E. Umanskii and B.S. Yavich, Fiz. Tekh. Poluprovodn. 16,831 (1982) [Sov. Phys. Semicond. 16, 532 (1982)].
- (3) I. Banerjee, D.W. Chung and H. Krolmer, Appl. Phys. Lett. 46, 494 (1985).
- (4) E.A. Sten, F. Ellis, K. Kim, L. Romano, S.I. Shah and J.E. Greene, Phys. Rev. Lett. 54, 905 (1985).
- (5) L.C. Davis and H. Holloway, Phys. Rev. B35, 2767 (1987).
- (6) B.L. Gu, K.E. Newman and P.A. Fedders, Phys. Rev. B35, 9135 (1987) e referências aí contidas.

BANDAS DE IMPUREZAS EM SEMICONDUTORES

A. Ferreria da Silva

Instituto de Pesquisas Espaciais – São José dos Campos

Em princípio, deve se situar um estudo sobre bandas de impurezas em um material semiconductor no contexto dos materiais cristalinos, os quais servem de paralelismo na compreensão dos sistemas desordenados, como visto a seguir. Pode-se dizer que foi a partir de Bloch (1929) e Wilson (1931)¹ que se fez uma nítida distinção entre metais e não-metais. Num material cristalino, os elétrons são descritos pelas funções de Bloch, as quais se estendem sobre o cristal e têm a mesma periodicidade da rede. Os estados eletrônicos do material levam a um conjunto de bandas de energia, $\epsilon(k)$, as quais se estendem até a superfície da zona de Brillouin. Ilustram-se de uma maneira simplificada duas situações distintas de estruturas de bandas como na Figura 1. Nesta figura as regiões hachuradas denotam os estados ocupados e ϵ_F , a energia de Fermi, indica se a banda é parcial ou completamente cheia (metal e não-metal). As bandas são separadas por um "gap" de energia Δ . Uma maneira mais conveniente de descrever o espectro de energia é na forma de densidade de estados $D(E)$. Tem-se, assim, um guia completo de bandas distintas, que guardam um paralelismo com as bandas de impurezas.^{1,3,4}

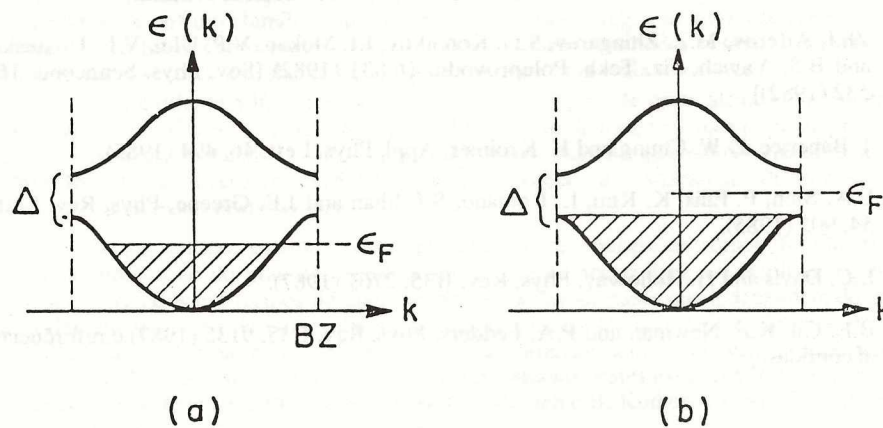


Fig. 1 – Estruturas de bandas de materiais cristalinos. As regiões hachuradas denominam-se estados ocupados e ϵ_F é a energia de Fermi.

Em uma série de artigos, Mott (1949-1961)⁵ descreveu a transição metal não-metal (MNM), imaginando uma cadeia cristalina de átomos de hidrogênio com uma constante de rede a , a qual podia ser variada. O exemplo de óxido de níquel sugeria que, para valores grandes de a , o material seria isolante, enquanto para metais monovalentes como sódio, para valores pequenos de a , ele era metálico. A pergunta era, a que valor de a ocorreria uma transição? Mott sugeriu, o que veio a ser uma fórmula de amplo emprego, $N_C^{1/3} a_H \approx 0.25$. Aqui, tem-se que N_C é a densidade crítica de portadores, e a_H é o raio hidrogenóide. Esta fórmula continua a ser aplicada com muito sucesso nos estudos de transição MNM em semicondutores dopados do tipo CdS, GaAs, Ge, Si, etc.⁶ Para concentrações de doadores (impurezas) muito baixas, os níveis rasos de energia que aparecem abaixo da banda de condução podem ser descritos em termos da teoria da massa efetiva, onde o elétron do doador se move em uma órbita hidrogenóide com um raio de Bohr efetivo, a^*H , o qual é muito maior que a constante da rede do semiconductor. Conseqüentemente, quando se descreve a interação entre os doadores vizinhos, despreza-se a influência da rede. Assim, um semiconductor dopado fornece um modelo ideal para um sistema desordenado de átomos de hidrogênio, no qual a transição MNM pode ser obtida variando a concentração de doadores. Como exemplo, a condutividade apresenta uma variação drástica, em torno da transição, em função da concentração.⁷ Estes sistemas diferem consideravelmente dos óxidos metálicos de transição.⁵ A transição ocorre a baixa temperatura, podendo-se desprezar o aspecto termodinâmico do problema. Apresenta-se, na Figura 2, um esquema de como átomos de fósforo (P) e arsênio (As) substituem átomos de silício (Si) num sistema desordenado. O esquema do P ou As, ou ambos P e As, no Si, denominam-se respectivamente Si:P, Si:As ou Si:P, As.

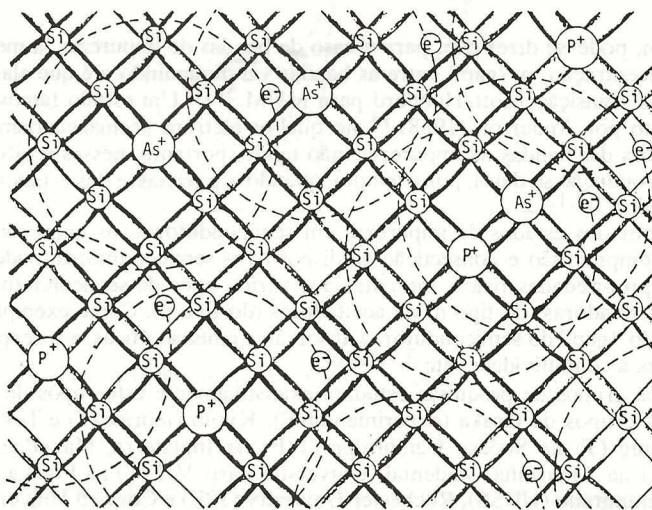


Fig. 2 – Ilustração dos átomos de P e As no Si (Adaptado de K. -F. Berggren na Ref. 2).

Outro importante passo no estudo de bandas foi introduzido por Hubbard (1963, 1964)⁸, com um modelo “tight-binding” no qual a interação entre elétrons é incluída somente quando eles estão no mesmo átomo; as forças coulombianas de longo alcance são desprezadas. Um esquema deste modelo é apresentado na Figura 3. O sistema consiste em N -átomos, N -vezes degenerados. Para $a \rightarrow \infty$, ele é um não-metal e o espectro de energia apresenta dois níveis separados por uma energia coulombiana intra-atômica U .⁵⁻¹⁰

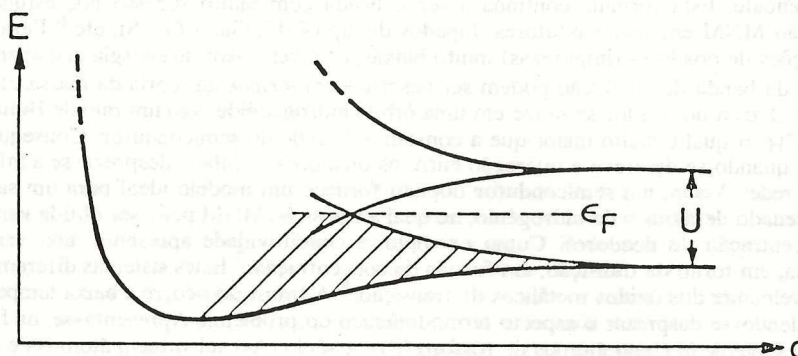


Fig. 3 – Ilustração das bandas de impurezas.

Assim, pode-se dizer que, para o caso de bandas de impurezas, a medida que se aumenta a concentração, o “gap” entre as bandas vai diminuindo até que elas se toquem, dando origem à transição Mott-Hubbard para MNM.⁵⁻¹⁰ Um estudo famoso sobre desordem foi feito por Anderson (1958),¹¹ no qual os elétrons permaneceriam localizados em certas regiões das bandas de impurezas, não tendo, portanto, nessas regiões condução no sistema. A condução se daria, por exemplo, quando ϵ_F passasse dos estados localizados para os estendidos.^{5,7,12}

A partir dos estados de impurezas em semicondutores, os quais são muito importantes na compreensão e consecução de dispositivos semicondutores, pode-se estudar uma gama de propriedades físicas inerentes aos vários tipos de semicondutores dopados com impurezas doadoras (do tipo n) ou aceitadoras (do tipo p). Como exemplo, tem-se o estreitamento do “gap” do semicondutor, a absorção e emissão óticas, a susceptibilidade, o calor específico, a condutividade, etc.^{2,7,12,13}

Vários grupos de pesquisas estudam exaustivamente estes tipos de semicondutores, como os grupos de Osaka (experimental-E), Kyoto (teórico-T) e Tokyo (T/E) no Japão, Linköping (T) na Suécia, Cambridge (T/E) na Inglaterra, Max-Planck Institut-Stuttgart (T/E) na Alemanha Ocidental, Université Paris VII (T) na França, Ioffe Institute (T) em Leningrado (URSS), Rochester Univesity (T/E) e Corwell University (E) ambas em Nova York (EEUU), Bell Laboratories (T/E) em Nova Jersey (EEUU), etc.

No Brasil, destacam-se os grupos teóricos do INPE (São Jose dos Campos, SP), da Universidade Federal Fluminense (Niterói) e da UNICAMP (Campinas, SP). Como uma boa referência, veja os anais da Escola Brasileira de Física de Semicondutores (1983-1985 e 1987). Estes grupos têm-se destacado pelas inúmeras publicações em revistas e

congressos nacionais e internacionais. No INPE, estudam-se as relações possíveis das bandas de impurezas com as propriedades físicas, descritas acima, dos semicondutores. As técnicas envolvidas são: de Função de Green, de aglomerados que usam o formalismo de Hartree-Fock-Roothaan e moleculares. Estes estudos são extensivos aos sistemas de baixa dimensionalidade.^{10,13,14} Recentemente, foi desenvolvido um modelo que determina a transição MNM dos semicondutores simples e duplamente dopados com impurezas raras, n-Cds e n-GaAs,⁹ Si:P, Si:Sb, Si:As, Si:P, As e Si:P, Sb.¹⁵ Encontrou-se a seguinte ordem da concentração crítica, N_C , para a transição no Si: $N_C^{Sb} < N_C^{P,Sb} < N_C^P < N_C^{P,As} < N_C^{As}$. A densidade de estados para $N = 1,7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, em três sistemas diferentes, é mostrada na Figura 4, onde se consideram a aproximação “tight-binding” e os efeitos dos mínimos da banda de condução.¹⁵ Este modelo explica também, como a presença das energias de ionização, devido aos dois tipos de impurezas diferentes (Figura 2), influencia o comportamento das medidas de condutividade elétrica dos sistemas duplamente dopados em relação aos sistemas simples.¹⁶

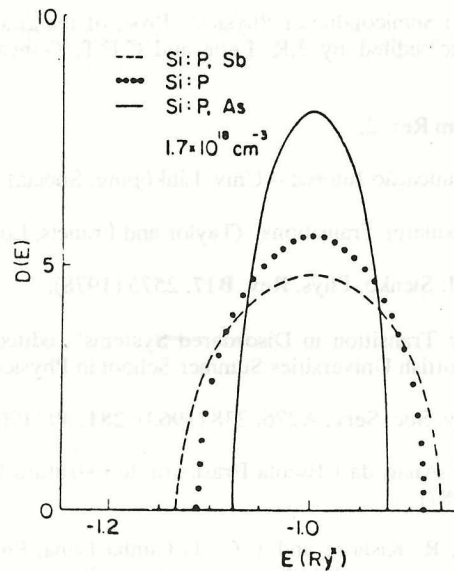


Fig. 4 – Bandas de impurezas para sistemas diferentes de doadores.

O problema de bandas de impurezas merecerá a atenção dos pesquisadores¹²⁻¹⁸, por muito tempo, dado que sua compreensão ainda não é completa. Por exemplo, num espectro de baixa a alta concentração de impurezas, passando pela transição, não são bem compreendidos os efeitos combinados de desordem, a correlação de elétrons, os mínimos da banda de condução (estes de semicondutores de “gap” indireto, como o Si e Ge), etc, nas propriedades de condução, termodinâmicas e de transição dos semicondutores dopa-

dos. Veja os "Proceedings" das conferências sobre bandas de impurezas em Trieste, Itália (1986), São Francisco, Califórnia, EEUU (1984), Refs. 2,7 e 12 e a Conferência de Würzburg, Alemanha Ocidental (1979).¹⁸

Espera-se que, num futuro não muito distante, apareça um modelo que unifique os efeitos acima descritos para uma melhor compreensão dos estados de impurezas rasas nos semicondutores.

REFERÊNCIAS

1. F. Bloch, Z. Phys. **57**, 545 (1929); A.H. Wilson, Proc. Roy. Soc. **133**, 458 (1931).
2. "Current Research on Semiconductor Physics", Proc. of the 2nd Brazilian School on Semiconductor Physics, edited by J.R. Leite and C.E.T. Gonçalves da Silva, USP (1985).
3. A. Ferreira da Silva em Ref. 2.
4. K.F. Berggren (Comunicação Interna – Univ. Linköping, Suécia).
5. N.F. Mott, "Metal-Insulator Transitions" (Taylor and Francis, London, 1974).
6. P.P. Edwards and M.J. Sienko, Phys. Rev. **B17**, 2575 (1978).
7. "The Metal-Insulator Transition in Disordered Systems", edited by L.R. Friedman and D.P. Tunstall (Scottish Universities Summer School in Physics, Edimburg, 1978).
8. J. Hubbard, Proc. Roy. Soc. Serv. A276, 238 (1963); **281**, 49 (1964).
9. A. Ferreira da Silva, "Anais da I Escola Brasileira de Estrutura Eletrônica" (no prelo). [Brasília, julho 1987].
10. A. Ferreira da Silva, R. Kishore and I. C. da Cunha Lima, Phys. Rev. **B23**, 4035 (1981); I.C. da Cunha Lima and A. Ferreira da Silva, Phys. Rev. **B30**, 4819 (1984); H. Kamimura na Ref. 7.
11. P.W. Anderson, Phys. Rev. **109**, 1492 (1958).
12. "Localization and Interaction in Disordered Metal and Doped Semiconductor" edited by D.M. Finlayson (Scottish Universities Summer School in Physics, ST, Andrews, 1986).
13. E. Granato, R. Ranvaud, A. Ferreira da Silva, I.C. da Cunha Lima e J.P. de Souza, Rev. Fis. Apl. Instr. **2**, 77 (1987); E. Granato, A. Ferreira da Silva, R. Ranvaud, J.P. de Souza, Rev. Fis. Apl. Instr. **2**, nº 3 (1987); P. S. Guimarães and A. Ferreira da Silva (a ser submetido). E. A. de Andrada e Silva and I.C. da Cunha Lima. Phys. Rev. Lett. **58**, 952 (1987).

14. I.C. da Cunha Lima; A. Ferreira da Silva, P.S. Guimarães, L.F. Perondi and J.R. Senna, Phys. Rev. B32, 2371 (1985); A. Ferreira da Silva and M. Fabbri, Phys. Rev. B32, 8144 (1985). E.A. de Andrada e Silva, I.C. da Cunha Lima and A. Ferreira da Silva, Solid St. Comum. 61, 795 (1987). L.E. Oliveira and L.M. Falicov, Phys. Rev. B34, 8676 (1986).
15. A. Ferreira da Silva, "Proc. of the 18th Int. Conference on the Physics of Semiconductors", Stockholm, 855 (1986); Physica Scripta T14, 27 (1986); Phys. Rev. Letters 59, 1263 (1987).
16. P.F. Newman and D.F. Holcomb, Phys. Rev. Letters, 51, 2144 (1983).
17. Majlis and E.V. Anda, J. Phys. C11, 1607 (1978); M.S. Figueira, S.S. Makler and E.V. Anda, J. Phys. C17, 623 (1983), S.S. Makler and E.V. Anda, J. Phys. C16, 457 (1983), L.E. Oliveira and L.M. Falicov, Phys. Rev. B33, 6990 (1986).
18. "International Conference on Impurity Bands in Semiconductors", edited by M. von Ortenberg (Würzburg, West Germany, 1979). [Philos. Mag. B42 (1980)].

DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS: “ATUAL ESTÁGIO NO BRASIL”

Francisco Carlos de Prince
Instituto de Física – Unicamp

Dispositivos eletrônicos compõem uma vasta área que possibilitam o elo de ligação entre Engenharia Física e Ciência Básica. Não tem sido tradição da Física atual nesta área de conhecimento. A engenharia tem atuado mais na construção e desenvolvimento de sistemas e não em dispositivos, que seriam os componentes dos sistemas. Entretanto, com a possibilidade de fabricação de circuitos integrados em alta escala, o projeto do equipamento, muitas vezes, confunde-se com o projeto do dispositivo.

Na área de circuitos integrados de Si, existem pelo menos 3 empresas atuando: Itaucom, SID e Elebra Microeletrônica. Todas têm planos de desenvolvimento e metas de produzir circuitos integrados até 1991 no país, dominando todas as fases tecnológicas necessárias para isto.

Entre as empresas, a SID parece ter maior domínio da tecnologia atualmente, porque herdou uma linha pronta da antiga RCA.

Entre os Centros de Pesquisa atuando na área, temos o Centro Tecnológico de Informática e o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Telebrás, ambos em Campinas/SP.

Dentre os dispositivos optoeletrônicos, usando GaAs e InP como substratos, a Elebra Microeletrônica assinou com o CPqD contrato de transferência de tecnologia de fabricação de lasers semicondutores de GaAs e pretende implantar esta tecnologia industrialmente no país em 2 anos.

Examinando de forma ampla o país, parece-me que ainda há muitas lacunas a serem preenchidas na área de dispositivos eletrônicos. A nível teórico, o que existe de pessoas trabalhando no país é insignificante.

Embora esta área não tenha sido tradicionalmente ocupada pela física, existe muita ciência básica e aplicada para que os físicos possam nela atuar no país, ocupando um espaço em que atualmente não há pessoas com formação adequada para ocupar.

Comunicados dos Sócios

COMPUTADORES NEURAIIS

Roland Köberle
Instituto de Física e Química de São Carlos – USP

Realizou-se em Dusseldorf de 28/9 a 02/10/87 um workshop sobre “Neural Computers – From Computational Neuroscience to Computer Design”. Participaram 74 especialistas das seguintes áreas de pesquisa:

Física	5
Matemática	4
Computação-informática	14
Inteligência artificial	5
Biofísica-neurofisiologia	16
Psicologia	5
Engenharia elétrica	10
Outros	15

Com a presença de pesquisadores das mais diversas áreas, esta reunião foi extremamente frutífera apesar de alguns problemas iniciais de comunicação.

Nesta área, podemos distinguir duas linhas de motivação, convergindo de lados opostos.

A primeira segue do interesse por uma melhor compreensão do funcionamento do cérebro humano, usando dados biológicos, em geral, e neurofisiológicos, em particular. Está interessada em utilizar modelos matemáticos ou outros, com o máximo de semelhança biológica para simular comportamentos observados e, assim, conseguir um entendimento do funcionamento cerebral.

A segunda decorre do interesse de construir um sistema computacional com processamento paralelo em abundância, que servisse para atacar problemas notoriamente duros para máquinas do tipo von Neumann. Como o cérebro humano é exatamente um sistema desses, procura naturalmente utilizar ao máximo informações relevantes obtidas na área biológica, sem, no entanto, preocupar-se com um maior realismo.

O grande gargalo, que está impedindo um maior progresso na velocidade de processamento dos computadores convencionais tipo von Neumann é a dificuldade de programação, ou seja, a produção de software. Arquiteturas modernas procuram explorar um maior paralelismo no processamento, e isto exacerba ainda mais a dificuldade de programação.

O ideal nesta situação seria um instrumento que operasse com um alto grau de paralelismo, necessitando, no entanto, um mínimo de programação. É neste ponto que REDES DE NEURÔNIOS (RN) entram em cena, pois operam em PARALELO por essência e são computadores NÃO PROGRAMÁVEIS: RN's são treinadas ao invés de pro-

gramadas. Eles desenvolvem o seu próprio algoritmo em resposta a informações e solicitações do meio.

RN's foram desenvolvidos no passado com o intuito de modelar funções cerebrais, mas somente recentemente este tipo de processamento distribuído em paralelo chegou ao ponto de realmente executar tarefas interessantes e extremamente complexas. Elas são constituídas por elementos processadores (no caso mais simples possuem apenas dois estados) – o análogo dos neurônios dispostos em camadas ligadas entre si por conexões de intensidade variável – o análogo das sinapses. Para usar RN's, devemos ajustar as intensidades das conexões ligando o i -ésimo elemento processador a j -ésimo (J_{ij}). Isto é feito ensinando a rede – ajustando os J 's – a produzir uma saída desejada na última camada a partir de uma entrada específica apresentada à primeira camada. Existem vários procedimentos para ajustar os J 's como "backpropagation", "simulated annealing", etc. e, é neste passo que reside a maior dificuldade na construção de uma RN adequada.

Como exemplo, mencionamos uma aplicação nova das RN's chamada NETalk – uma rede, que transforma texto escrito em palavras faladas. Para ilustrar as vantagens dos RN's notamos que um sistema complexo chamado DECTalk foi desenvolvido durante vários anos pela Digital Equipment Corporation e que pronuncia palavras aparecendo na tela do computador. Sejnowski e Rosenberg, os idealizadores de NETalk, começando do zero, levaram menos de três meses para desenvolvê-lo.

É claro, que treinando da maneira escrita uma RN, não temos nenhuma garantia de que ela vá operar satisfatoriamente, quando apresentamos itens que não foram incluídos durante o treinamento. No entanto, NETalk teve uma eficiência da ordem de 90% ao pronunciar palavras, que nunca tinha visto antes. Espera-se que RN's sejam adequadas para uma série de problemas ocorrendo em Inteligência Artificial, por exemplo, quando uma quantidade enorme de informações tem que ser processada em paralelo e quando há várias maneiras de fazê-lo com a possibilidade de obter soluções muito boas, ainda que aproximadas. Máquinas tipo von Neumann são notoriamente ineficientes para estas tarefas.

Na reunião, também foi discutida a possibilidade de implementar RN's usando tecnologia de Si. A maior dificuldade existe no alto grau de conectividade desejada (da ordem de 10000 no córtex humano), completamente além do alcance da tecnologia existente. No entanto, redes de Transputers estão muito em moda para executar esta tarefa.

Futuramente, podemos esperar um acoplamento entre RN's e hardware óptico, devido ao alto grau de paralelismo inerente a esse tipo de equipamento.

O tempo estimado para que RN's alcancem um desenvolvimento parecido com máquinas convencionais é da ordem de 10 anos, apesar de que já existam firmas comerciais explorando a nova arquitetura. Creemos, que esta área de pesquisa deva merecer uma atenção toda especial devido ao seu tremendo potencial em proporcionar retornos científicos e tecnológicos.

ELETROMETAL PROCURA FÍSICO

A **ELETROMETAL**, empresa privada nacional entrou na sua 3ª etapa de expansão, introduzindo na sua gama de fabricação ligas elétricas, eletrônicas, materiais magnéticos moles, ligas com propriedades físicas especiais, metais reativos e refratários (Ti, Zr, Mo, W, Nb, Ta), bem como novos processos industriais de laminação a quente e a frio de tiras, trefilação de arames e fios ultrafinos e, extrusão a quente de tubos sem costura de ligas especiais.

Visando atender ao alto grau tecnológico embutido na fabricação destes novos produtos, a **ELETROMETAL** iniciou um programa de formação de mestres especializados em diversas disciplinas da metalurgia e de física.

No campo da física, a **ELETROMETAL** pretende contratar um aluno de último ano de curso graduação, que deverá especializar-se em magnetismo a nível de mestrado.

Os interessados deverão enviar Curriculum Vitae e Histórico Escolar para o endereço abaixo:

ELETROMETAL S/A. METAIS ESPECIAIS

Dr. Alain Jean Isoré

Caixa Postal 944

13100 – Campinas – SP.

Obs.: Em princípio, o aluno deve realizar o trabalho de mestrado junto ao Grupo de Materiais Magnéticos do Deptº de Física dos Materiais e Mecânica do Instituto de Física da USP. Portanto, os interessados deverão enviar cópia xerox dos documentos para:

PROF. FRANK P. MISSELL

Instituto de Física

Universidade de São Paulo

C.P. 20516

01498 – São Paulo – SP.

(a) Frank P. Missell – IFUSP

CARTA ENVIADA À REVISTA ISTOÉ A RESPEITO DO ARTIGO: “GUERRA DOS BITES” PUBLICADA NO Nº 560

Sr. Aluísio Maranhão
Editor Chefe
Revista IstoÉ

Senhor Editor:

O artigo “Guerra dos bites” publicado no número 560 da IstoÉ menciona objeções feitas pelo Prof. Alfredo Simas e por mim, à compra de um supercomputador, neste momento, conforme anunciado recentemente pelo Ministério da Ciência e Tecnologia. Lamentamos que esta revista tenha sido tão maliciosa e desrespeitosa ao se referir a nós, pesquisadores pernambucanos, e que não tenha se preocupado em se esclarecer, sobre o nosso ponto de vista. Com isto, o artigo é tendencioso e não esclarece, faz pilhérias, e é preconceituoso.

Penso que a compra do supercomputador deve ser precedida por um importante e primeiro passo, primordial para seu bom desempenho, que é equipar os centros de pesquisa do país com minicomputadores e, assim, permitir criar infraestrutura de acesso ao supercomputador. Sem isto, o super terá sua eficiência fortemente penalizada e, mais, o Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC) terá dificuldade em justificar o “N” de sua sigla.

A noção de que minicomputadores são máquinas ortodoxas, é uma clara desinformação do articulista da matéria. É preciso não se iludir com o nome. Para citar um exemplo, um mini FPS-164 (Floating Point Systems, Inc. Model 164) é capaz de suportar até 64 megabytes de memória principal, o que o colocaria, em termos de memória, como um dos mais poderosos sistemas em funcionamento neste país, no momento.

A proliferação de minicomputadores nos diversos laboratórios de pesquisa do mundo, levanta dois pontos particularmente importantes. Primeiro, o sucesso dos minis está ligado a sua dedicação exclusiva, o que permite a cada grupo otimizar seu sistema de acordo com suas peculiaridades e exercer controle sobre seus próprios recursos. Segundo, a discussão sobre recursos local x remoto. A descentralização de facilidades computacionais tem claras vantagens estratégicas, além de formar a rede, na qual o supercomputador se apoiará para não se preocupar com atividades pouco nobres e se dedicar à sua real atividade de “quase 1 bilhão de operações por segundo”. É um equívoco pensar que uma máquina atinge potência máxima, independentemente de sua estruturação, configuração, implementação, equipe, códigos, etc.

Ao nos dirigirmos à Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, era nossa intenção que estes assuntos fossem discutidos no âmbito da comunidade científica e, em nenhum momento nos indignamos, como diz a revista, contra a idéia do ministro Archer, que consideramos positiva.

Finalmente, gostaria de esclarecer que não foi com anedotas que cheguei ao corpo editorial do “Computer Physics Communications”, revista periódica de circulação in-

ternacional, publicada pela North-Holland, onde, desde setembro de 1986, sou um dos editores para assuntos de física molecular. Nem o Prof. Simas se tornou responsável pelo nosso centro de computação em Ciência Exatas, sem demonstrar seriedade e competência.

Peço, como direito de defesa, e em nome da seriedade, que estes esclarecimentos sejam publicados na íntegra.

Atenciosamente,

Sylvio Canuto
Departamento de Física
Universidade Federal de Pernambuco

I ENCONTRO REGIONAL DE ATUALIZAÇÃO EM FÍSICA EM SANTA MARIA

Realizou-se nos dias 02, 03, 04 e 05 de dezembro p.p., o I Encontro Regional de Atualização em Física na Universidade Federal de Santa Maria, com o apoio da Secretaria Regional da Sociedade Brasileira de Física do Rio Grande do Sul e FINEP. O encontro abordou os mais variados temas de Física Contemporânea, Ensino de Física e discussões sobre temas atuais da Física, constando de 07 palestras, 03 mini-cursos e uma mesa-redonda.

O Encontro foi um absoluto sucesso conseguindo congregiar professores de física do segundo grau, estudantes e professores universitários, além dos especialistas nas áreas, vindos de vinte e um municípios do estado. Durante quatro dias foi possível discutir os mais avançados tópicos da física contemporânea, sempre em linguagem acessível também a não especialistas.

A opinião unânime dos cento e trinta participantes é que encontros dessa natureza devem repetir-se outras vezes no estado e em outros estados do país.

Ronaldo Mota – UFSanta Maria

PELA REGULAMENTAÇÃO DA PROFISSÃO DE FÍSICA

A questão da regulamentação da profissão de física tem sido tema de discussão já há muitos anos. Em muitas oportunidades – assembléias, mesas-redondas, debates e relatórios de comissões formadas para discutir o tema – a comunidade tem se manifestado favoravelmente a ela. A feliz apresentação do tema no programa eleitoral de quatro pontos divulgada pela atual diretoria da SBF é bastante oportuna, especialmente tendo em vista a preocupação crescente com a profissionalização do curso de bacharelado em física. Vale lembrar, quanto a este último ponto, a aprovação recente pela Congregação do IFUSP de um curso de física aplicada e instrumentação e a criação, no mesmo Instituto, de uma Comissão de Apoio Profissional cuja principal função é atuar no sentido de promover a profissionalização dos alunos formados em áreas aplicadas.

Regulamentação: Sim ou Não?

Em vários debates e discussões alguns colegas – em geral poucos – levantam argumentos contra a regulamentação da profissão. Um dos mais antigos “argumentos”, não mais usado, afirmava que ao regulamentar-se uma profissão, os profissionais que a exerciam ficavam impedidos de exercer qualquer outra atividade que não estivesse explicitamente prevista na Lei. Como físicos exercem atividades muito variadas, a regulamentação seria um mau negócio. Esse argumento é falso e corresponde aproximadamente ao inverso do que de fato ocorre: a regulamentação de uma profissão impede pessoas que não estejam preparadas para exercê-la (em geral por meio de cursos) o façam, criando uma espécie de reserva de mercado.

Outro argumento usado é baseado no fato de que essa reserva de mercado é mesquinha, sendo a versão moderna das antigas corporações medievais. Este argumento é ao menos parcialmente correto. De fato, exigir-se burocraticamente a mesma formação escolar para se projetar e dirigir a construção de uma casa térrea em terreno plano e sem maiores problemas e, para se construir um prédio com dezenas de andares em terreno acidentado e pouco sólido, talvez seja corporativismo. No entanto, se certos limites forem respeitados, não se pode caracterizar a regulamentação de uma profissão como corporativismo. Há muitas funções na sociedade que, se mal exercidas, podem implicar em custos materiais e humanos não desprezíveis. É claro, portanto, que essas funções devam ser exercidas por pessoas realmente capazes de fazê-la. Um dos mecanismos usados para garantir e controlar essa capacidade é por intermédio do estabelecimento de profissões cujos cursos obedeçam a requisitos mínimos de qualidade e conteúdo, e cujos exercícios sejam fiscalizados por organismos especialmente criados para isso (os Conselhos Federal e Regionais das profissões). E está claro que num processo de regulamentação da profissão, devemos nos restringir às atividades que realmente exijam um conhecimento específico detalhado, bem como, respeitar o direito de qualquer outro profissional, regulamentado ou não, de exercer concorrentemente as mesmas atividades.

Outro argumento usado contra a regulamentação da profissão, fundamenta-se na comparação com o que ocorreu ou está ocorrendo no caso do jornalismo. No entanto, não é possível fazer-se tal confusão. Talvez, de fato, o jornalismo esteja entre aquelas profissões que, quando mal exercidas, causem os maiores prejuízos e desgastes à sociedade. No entanto, não será, em absoluto, a exigência de diplomas que irá garantir que o jornalismo passará a ser exercido em favor da maior parte da população e, não, de determinados grupos econômicos e sociais. No caso desta profissão se contrapõe à regulamentação a própria liberdade de expressão de idéias.

A favor da regulamentação da profissão de física, há vários argumentos. Talvez, o mais importante deles seja o fato concreto que, hoje, muitos colegas exerçam de forma completa e autônoma várias atividades junto a laboratórios de desenvolvimento e a setores produtivos de indústrias sem poderem atestar legalmente, serem corretos os resultados obtidos: outras pessoas que exerçam uma profissão regulamentada precisam assinar por eles, mesmo que, não saibam fazer aquilo que endossam. A meu ver essa situação é deprimente e atenta contra a dignidade da profissão. O que diríamos se nossos artigos para serem aceitos para publicação precisassem da assinatura de alguém que em nada contribuiu para a sua elaboração?

Outro fato, que torna urgente a regulamentação da profissão, é o início de projetos antigos de reestruturação curricular, que visam a profissionalização do bacharel em física. Esses projetos são importantes na medida que, quando totalmente implantadas e em funcionamento, podem abrir novas perspectivas profissionais e salariais para nossos alunos. Uma das grandes vantagens dessas perspectivas é reduzir os índices de evasão escolar, atualmente excessivamente altos, entre outras razões, pela completa desvalorização do ensino secundário como profissão e, pelo fato que a pesquisa e o ensino superior implicam, muitas vezes, em cerca de dez anos de curso, até o doutoramento, para o exercício de uma profissão mal remunerada e com poucas possibilidades de emprego nos centros mais avançados. Implantados esses programas, o aluno poderá de fato optar pelo ensino e/ou pesquisa e não seguir a carreira acadêmica por ser a única coisa que pode fazer. A regulamentação da profissão vem, no momento, completar esses projetos profissionalizantes, sendo essencial para que eles possam ser plenamente implantados.

Enfim, a regulamentação está relacionada com a dignidade do exercício da profissão de física, que não pode e nem tem porque ficar dependendo de outros profissionais para assinar e endossar trabalhos exercidos completa e plenamente por um físico. A definição de remuneração mínima, bem como, a responsabilização da comunidade – por intermédio dos Conselhos Regionais e Federal, escolhidos em eleições diretas – pela capacitação dos profissionais, desde que livre de interesses corporativos, é fundamental. Da mesma forma, é fundamental que os institutos e departamentos de física intensifiquem os projetos de reestruturação curricular, visando a criação de perspectivas profissionais mais atraentes.

É necessário dizer, que está implícita na argumentação apresentada a hipótese de que a sociedade brasileira seria beneficiada com a incorporação de físicos nas áreas produtivas, uma vez que, tal fato está diretamente relacionado com o desenvolvimento de projetos tecnológicos ligados a autonomia e soberania do país.

Como Regular?

A regulamentação de uma profissão decorre de uma lei específica que deve ser aprovada pelo Congresso Nacional. Um dos pontos básicos dessa lei estabelece que a elaboração em geral de projetos em dada área de conhecimento, bem como, a emissão de atestados a ela referentes, só podem ser feitas por profissionais que cursaram escolas que

tenham obrigatoriamente em seu currículo assuntos daquela área. Outro ponto se refere à criação e funções dos Conselhos daquela profissão, basicamente responsáveis pela garantia da qualidade dos serviços profissionais e, conseqüentemente, das escolas que os formam.

O projeto de lei de regulamentação de uma profissão pode ser encaminhado pelos poderes executivos ou legislativo. O encaminhamento por intermédio do poder executivo – no caso o Ministério do Trabalho seria o mais adequado – pode ser mais interessante por se tratar de assunto com maior conteúdo técnico do que político.

Cabe à SBF assumir integralmente esse projeto e tomar de fato – e não virtualmente, como fizeram diretorias anteriores, seguindo instruções das Assembléias - atitudes que levem a curto prazo, à regulamentação da profissão. Isso poderia ser feito pela indicação de um membro da comunidade – da diretoria ou do conselho – pessoalmente convencido da necessidade da regulamentação e com tempo e disposição de trabalho. A essa pessoa caberia entrar em contato com os Ministérios do Trabalho, Justiça e Educação, representando plenamente a SBF, e conduzir o início do processo até a redação de um esboço inicial do projeto de Lei e o estabelecimento de eventuais alterações necessárias no currículo (mínimo) do curso de física registrado no MEC.

Otaviano Augusto Marcondes Helene – IFUSP

MANIFESTO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA SOBRE OS PROGRAMAS NUCLEARES BRASILEIROS

A Sociedade Brasileira de Física tem feito um acompanhamento permanente dos Programas Nucleares Brasileiros, em particular, desde o acordo com a Alemanha. A Intenção é a de contribuir, desta forma, para o esclarecimento da opinião pública e alertar todas as administrações federais envolvidas sobre os graves equívocos em que o país incidia, tendo em vista o alto custo da energia nuclear e os problemas tecnológicos que ela ainda enfrenta. A SBF reafirma suas críticas, mas reconhece que já foram tomadas medidas concretas para a redução do extenso programa de construção de reatores, embora não se tenha tomado uma decisão final sobre o destino da Nuclebrás. O governo federal não se definiu de forma clara a respeito do redimensionamento e reorientação desta estatal.

Não existe participação das comunidades civil e científica no que diz respeito à instalação de centrais nucleares no país. A situação permanece inalterada. Mesmo o plano de emergência para a evacuação de Angra dos Reis não sofreu a revisão na profundidade solicitada pela SBF, por vários cientistas e pela própria comissão formada no âmbito governamental para propôr modificações. Além disso, o governo subordinou a Comissão Nacional de Energia Nuclear e o Sistema de Proteção ao Acordo Nuclear (SIPRON) ao Conselho Nacional de Segurança. Estas medidas contribuíram para que as aplicações da tecnologia nuclear no país continuassem fora do controle democrático da sociedade.

A SBF pronunciou-se a respeito da perfuração feita na Base Aérea de Cachimbo, no interior do Pará, e que é compatível com perfurações para explosões nucleares subterrâneas. Encaminhada uma advertência ao governo, a resposta oficial foi a de que a posição da SBF seria arquivada para posterior análise. O recente anúncio feito por altas autoridades de que o Brasil já é capaz de enriquecer o urânio em pequena escala (até o percentual de 1,2% do isótopo U^{235}), embora indique que o país pode, de fato, resolver problemas tecnológicos internamente, só merecerá o aplauso da SBF, coerentemente com seus princípios, se este programa passar ao controle civil. Isto é inegável: hoje, trata-se de um programa militar. Não se pode afirmar que o programa vise desenvolver a bomba nuclear, mas não bastam declarações das autoridades neste sentido, já que as razões do Estado podem mudar. É fundamental estabelecer um mecanismo de controle e passar o desenvolvimento da tecnologia nuclear para o âmbito das instituições de pesquisa científica e tecnológica civis e não às Forças Armadas.

A SBF se vê na obrigação de se dirigir mais uma vez à opinião pública brasileira e alertar as autoridades governamentais para a gravidade do fato de o Brasil estar, neste momento, dando prioridade à aplicação militar da tecnologia nuclear, conduzida em um projeto inegavelmente militar.

O aspecto mais grave desta priorização é o apoio dado pelo governo ao Programa Nuclear paralelo executado pelas Forças Armadas e sob a responsabilidade da Comissão Nacional de Energia Nuclear e do Conselho de Segurança Nacional. Este programa tomou forma graças à iniciativa do último governo militar.

*Gil da Costa Marques
Presidente da SBF*

MANIFESTO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA SOBRE O ACIDENTE DE GOIÂNIA

A Sociedade Brasileira de Física vem se manifestando sobre vários aspectos da questão nuclear. Entre esses aspectos, destacam-se as declarações da SBF sobre armas nucleares, sobre os programas nucleares e sobre a estrutura dos órgãos governamentais do setor. Entretanto, é pertinente o registro de que a preocupação da nossa comunidade às questões de segurança da população e ao controle dos rejeitos radioativos, remonta à década dos anos setenta. Comissões, Secretarias Regionais, assim como sócios da SBF, vêm respondendo às solicitações de comunidades, outras entidades e Instituições brasileiras, para participação e apoio técnico em iniciativas relacionadas com a segurança ambiental e prevenção de acidentes nucleares.

Nesse momento, face à gravidade do acidente de Goiânia, a SBF já atuou oficialmente, através de sua Secretaria Regional da Região Centro-Oeste, a qual promoveu um encontro de membros da Comissão de Acompanhamento da Questão Nuclear com o Governo Estadual de Goiás, e uma Mesa Redonda em Goiânia que contou com a participação de funcionários da CNEN, atuando na área do acidente. Neste encontro, surgiu a solicitação de um pronunciamento oficial da SBF sobre questões fundamentais relacionadas com o acidente, tendo como ponto de partida o conjunto de questões apresentadas aos funcionários da CNEN durante a Mesa Redonda pelos membros da Comissão da SBF. Essas questões já são, portanto, do conhecimento da CNEN.

Para um pronunciamento oficial da SBF merecem destaque um conjunto de fatores e procedimentos que contribuíram para a existência e agravamento do acidente em Goiânia, que está contido nas questões básicas que seguem:

I – Além das medidas de caráter judicial já adotadas para a apuração das responsabilidades imediatas pelo acidente radioativo, que ações estão sendo consideradas para a apuração das responsabilidades dentro da esfera executiva do governo que resultaram na inexistência de um sistema de segurança e de fiscalização capaz de prevenir efetivamente acidentes dessa natureza? Que mudanças estruturais estão sendo adotadas para garantir a prevenção de acidentes dessa natureza?

A apuração de responsabilidade, ao nível dos operadores da fonte radioativa do Cs-137, bem como ao nível de fiscalização das instalações, em Goiânia, que abrigava esta fonte, não esgota esta questão. É evidente a falha estrutural do setor governamental relacionado com as aplicações nucleares e, que decorre de prioridades oficiais, que relegaram para um plano secundário a questão de segurança da população.

Também foram ignoradas as recomendações oferecidas por entidades científicas e comissões oficiais para a reestruturação do órgão federal incumbido da execução de programas nucleares e, que permitiriam a criação de um órgão independente para a fiscalização das atividades nucleares no país, como uma conseqüente atuação na proteção ambiental destas atividades.

II – Existem recursos humanos e materiais adequados para uma efetiva proteção radiológica da população brasileira?

Esta questão enfatiza a conseqüência material do descaso que vem caracterizando as decisões oficiais no setor. A ausência de quadros e meios suficientes para a proteção da população e do ambiente ficou evidente no acidente radioativo em Goiânia. Este quadro assume proporções alarmantes face à crescente utilização de materiais nucleares na indústria, na medicina e na agricultura e aos programas nucleares instituídos pelo governo federal.

III – Por que não estão sendo emitidos comunicados oficiais sobre questões técnicas relevantes ao episódio de Goiânia?

As informações tecnicamente relevantes – com evidente desdobramento político-administrativo – deveriam ser apresentadas oficialmente, em comunicados que contivessem dados suficientes para uma apreciação global periódica da evolução do acidente. Esta iniciativa deveria ser considerada como parte do procedimento natural de prestação de contas às populações afetadas direta ou indiretamente pelo acidente e à nação. Com o propósito de caracterizar a natureza das informações consideradas, é oferecido abaixo uma relação de questões pertinentes:

1. Qual a quantidade (em termo de massa) que foi efetivamente liberada, admitindo-se que se conheça com precisão a atividade específica e a massa inicial da fonte de Cs-137?
2. Qual a data exata de liberação de Cs-137 em Goiânia?
3. Qual o intervalo de tempo decorrido entre a liberação do Cs-137 e a verificação da existência de pessoas contaminadas por Cs-137 na cidade de Goiânia?
4. Quais os vetores conhecidos e/ou presumidos (envolvendo pessoas, animais, ventos, chuvas, etc.) que contribuíram e ainda estão contribuindo para o agravamento do episódio de liberação de 1,5KCi de Cs-137 em Goiânia?
5. Há contaminação significativa de plantas, verduras, ervas, frutos e raízes comestíveis? Se há, quais as providências que foram tomadas para que alimentos contaminados não afetem a saúde da população?
6. Houve contaminação de solos aráveis ou cultiváveis, como hortas ou pequenos sítios? Se houve, quais as providências tomadas para que solos contaminados não venham a ser utilizados no futuro para a produção de alimentos?
7. Houve contaminação de águas superficiais? Se houve, quais as providências tomadas para a descontaminação das águas e sedimentos, ou para a sua não utilização caso a descontaminação não seja possível?
8. Houve contaminação do lençol freático? Se houve, quais as providências que estão sendo tomadas para minorar os efeitos futuros dessa contaminação?
9. Está havendo ressuspensão de Cs-137 do solo para as plantas devido a chuva e/ou vento? Se está, quais as providências tomadas para evitar ou minorar a contaminação das plantas no futuro?

10. Quais as doses externas recebidas por pessoas não contaminadas interna ou superficialmente, mas que estiveram expostas à fonte não blindada?
11. Quantas pessoas foram presumivelmente irradiadas externamente?
12. Dentre essas, qual a percentagem já localizada para tratamento?
13. Quantas pessoas foram contaminadas externamente devido ao contacto do CICs com a pele? Dentre essas, qual a percentagem já localizada para tratamento?
14. Quantas pessoas foram contaminadas internamente? Dentre essas, qual a percentagem já localizada para tratamento de descontaminação?
15. Qual a fração da fonte que ainda não foi localizada?
16. Qual o prazo esperado para uma primeira etapa de descontaminação que permita a utilização dos locais contaminados para habitação, negócios, ou outras atividades?
17. Qual o prazo necessário para a descontaminação dos locais atingidos, para que voltem a ter níveis de radioatividade considerados normais, ou, no máximo, equivalentes aos níveis das áreas de radioatividade natural, como, por exemplo, Guarapari?
18. Qual o número de técnicos contaminados e/ou expostos a doses de radiação acima dos limites aceitos nacional e internacionalmente?

*Prof. Gil da Costa Marques – Presidente
Sociedade Brasileira de Física*

MANIFESTAÇÃO DOS FÍSICOS EXPERIMENTAIS BRASILEIROS ÁREA: FÍSICA DE ALTAS ENERGIAS E RAIOS CÓSMICOS

I. INTRODUÇÃO

Os físicos experimentais brasileiros de física de altas energias e radiação cósmica, reunidos em Caxambú de 16 a 20 de setembro de 1987, realizaram um levantamento dos projetos em que estão envolvidos, bem como, de projetos futuros e suas necessidades em termos de recursos materiais e humanos.

A seguir apresentamos um quadro resumindo a situação atual destes projetos (ver quadro anexo).

Um exame do quadro mostra que já existe um número razoável de projetos em andamento, com colaborações internacionais bastante fortes, envolvendo instituições de prestígio. Entretanto, é também claro deste quadro, a indisponibilidade de um número adequado de pesquisadores e pessoal de apoio técnico para permitir que estas colaborações sejam mais eficientes e consigam contribuir de maneira mais profunda e significativa nos projetos em que atuam.

Na realidade, este grande número de projetos está sendo executado por um total de apenas 20 (vinte) pesquisadores e da ordem de 15 estudantes e, com pouquíssimos técnicos (da ordem de cinco).

Convém frisar a importância que as colaborações internacionais têm no que diz respeito à transferência, para os grupos brasileiros, de tecnologia de ponta, numa área em que o Brasil atrasou-se muitos anos em relação à fronteira da pesquisa, assim como, para a divisão dos custos das experiências e acesso a equipamentos que, de outra forma, seriam impossíveis para os pesquisadores brasileiros. A crescente internacionalização da pesquisa em física de altas energias e radiação cósmica é um dos fatos mais marcantes das duas últimas décadas, no mundo da física, parecendo-nos um fato irreversível, dada a complexidade e custos envolvidos nestas pesquisas.

Finalizamos esta introdução com uma nota otimista, que consiste na observação do crescimento da nossa área nos dois últimos anos e a nossa capacidade emergente de atrair jovens pesquisadores.

II. RESULTADOS JÁ ALCANÇADOS E SITUAÇÃO ATUAL

A seguir, utilizando o levantamento reproduzido no quadro anexo, faremos um breve resumo dos resultados já alcançados e a situação atual de cada um dos projetos lá indicados.

1. Laboratório em Mina Profunda (UNICAMP)

Situação atual: Estágio de preparação de uma sala experimental a 1750 metros de profundidade, com a instalação de revestimento para as paredes, ar condicionado, regula-

dor de voltagem, etc. Há interesse em ampliar a colaboração, sendo bem-vindos outros grupos brasileiros, com o objetivo de instalar na mina de Morro Velho em Nova Lima, MG, detectores de muons para o estudo da astronomia de neutrinos. Grupos italianos e soviéticos já se dispuseram a colaborar neste projeto. O coordenador brasileiro é o Dr. Armando Turtelli Jr., da Unicamp.

2. Vôo de Balões: Elétrons-Pósitrons, Anomalia Magnética...

Situação atual: Os balões e parte dos detectores serão fornecidos pelo Instituto Lebedev da Academia de Ciências da URSS, já a partir de outubro de 1987. Há o interesse em ampliar o lado brasileiro da colaboração tanto para a construção de detectores como para o desenvolvimento da telemetria de bordo e, finalmente, análise de dados. Os coordenadores brasileiros são o Dr. Inácio Malmonge Martin e o Dr. Armando Turtelli Jr. da Unicamp.

3. Vôo de Balões: Estudo da Composição da Radiação Cósmica

Situação atual: Já foi feito um lançamento, em colaboração com grupos japoneses e o Dr. M. Luksys da UFPb. Os dados deste primeiro lançamento já foram analisados e apresentados na recente Conferência Internacional de Raios Cósmicos. Estão previstos outros lançamentos. Os coordenadores brasileiros são o Dr. José Augusto Chinellato, Dr. Armando Turtelli Jr. e Dr. Edson H. Shibuya (Unicamp).

4. Chuveiros Extensos em Chacaltaya: Anisotropia da Radiação Cósmica

Situação atual: O equipamento está operando desde 1984, tendo, já, dados analisados e publicados. Recentemente foi instalada uma nova eletrônica, que possibilitará o uso dos mesmos detectores para investigar fontes cósmicas de radiação. O coordenador brasileiro é o Dr. Armando Turtelli Jr. da Unicamp.

5. Câmara de Emulsões em Chacaltaya: Colaboração Brasil-Japão

Esta é uma colaboração histórica, responsável por notáveis descobertas no campo da radiação cósmica e física das partículas elementares. Está em operação desde 1962, comemorando agora 25 anos de existência. Do lado brasileiro envolve a UNICAMP, o CBPF e mais recentemente a UFF. Os resultados desta colaboração são amplamente conhecidos, dispensando maiores comentários. Coordenadores: Drs. José Chinellato e E.H. Shibuya (Unicamp), Dra. Neusa Amato (CBPF).

6. Chuveiros Gama de Altas Energias: Colaboração CLUE

Situação atual: Esta colaboração (CLUE = Cerenkov Light Ultraviolet Experiment) está em fase de planejamento e construção de partes dos detectores. A divisão de trabalho entre os grupos brasileiros (UFPb, UNICAMP e USP) e os grupos italianos (Pisa, Trieste e Nápolis) está sendo feita. Os grupos brasileiros estão encarregados do levantamento de locais no território brasileiro, adequados para a instalação dos detectores. O grupo da UFPb já iniciou os trabalhos de montagem de uma pequena ex-

periência de Cerenkov na atmosfera com espelhos e fotomultiplicadoras para servir de preparação à experiência final. Coordenador: Dr. Miguel Luksys (UFPb).

7. Chuviros Extensos ao Nível do Mar

Situação atual: Este projeto, desenvolvido na UFPb, encontra-se na fase de liberação de recursos e de formação de pessoal. Coordenador: Dr. Miguel Luksys (UFPb).

8. Programa Experimental no Fermilab: E-691 e E-769

Situação atual: E-691 – Esta experiência de fotoprodução de charme usando o acelerador Tevatron do Fermilab tomou dados em 1984-1985, que já foram analisados e publicados. Os resultados foram excelentes e constituem a maior amostra de charme já conseguida mundialmente. O grupo do CBPF participou de todos os estágios da experiência.

E-769 – Uma extensão da E-691, agora com feixe de hádrons, ampliação de parte dos detectores e do sistema de aquisição de dados. Encontra-se em fase de tomada de dados. O grupo do CBPF vem participando de todas as fases da experiência. Uma parte importante deste programa é a vinda para o Brasil dos processadores paralelos desenvolvidos no Fermilab, conhecidos por ACP que serão instalados no CBPF. Coordenador: Dr. Alberto F. S. Santoro (CBPF).

9. Experiência NA22 e NA27 no CERN

Situação atual: Estas duas experiências, envolvendo colaborações internacionais e sofisticado equipamento no CERN, já realizou a tomada de dados e encontra-se em fase de análise e publicação dos resultados, que são de alta qualidade. O grupo do CBPF vem participando intensamente nestas experiências e vem dando uma grande contribuição à análise dos dados. Coordenador: Dra. Ana Maria Endler.

10. Detector Delphi no LEP-CERN

Situação atual: Contactos foram mantidos, intermediados por físicos portugueses, entre o Dr. Ronald C. Shellard e a colaboração DELPHI no LEP, visando a formação de um grupo brasileiro nesta grande experiência.

11. Programa Experimental no Fermilab: E-691 e E-761

Situação atual: E-691 (ver item 8 acima).

E-761: Esta experiência que medirá o decaimento radiativo dos híperons $\epsilon + e \equiv -$ irá tomar dados em fins de 1988. O grupo da USP vem participando intensamente em todos os estágios da experiência. Coordenador: Dr. Carlos O. Escobar (IFUSP).

III. FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS

Conforme observamos anteriormente é pequeno o número total de pesquisadores e estudantes trabalhando nestes projetos, sendo, portanto, uma das metas mais imediatas o crescimento destes grupos, com especial atenção na formação de mestres e doutores. Para isto, é importante frisar que o forte caráter internacional dos projetos implica na necessidade da ida de estudantes para o exterior, para trabalharem nos diversos estágios envolvidos na execução destas experiências, ainda que suas teses sejam realizadas e os títulos obtidos aqui no Brasil. Torna-se, pois, necessária uma compreensão especial, por parte dos organismos de fomento à pesquisa, para tal situação, fortalecendo o programa de *bolsas sanduíches*, tanto a nível de doutoramento como a nível de mestrado.

O que foi dito acima para estudantes, aplica-se igualmente aos pesquisadores mais maduros que devem visitar com freqüência as instituições estrangeiras, membros das colaborações. Esta característica exigiria que as restrições quanto a viagens freqüentes fossem levantadas. Lembramos que os astrônomos brasileiros, usuários de grandes observatórios no exterior, já conseguiram este reconhecimento e não sofrem restrições quanto a viagens freqüentes.

Finalmente, ainda com relação a viagens ao exterior, lembramos que também o pessoal de apoio técnico qualificado (eletrônica, Mecânica de Precisão) deve beneficiar-se dessa interação com instituições estrangeiras, uma vez que da sua boa formação, depende, em grande parte, o êxito da transferência de tecnologia nestas áreas.

Entendemos que um dos principais obstáculos ao crescimento de nossos grupos é a dificuldade em atrair estudantes, dada a falta de perspectivas de emprego na nossa área, após o término do doutoramento. Faz-se necessária uma política mais lúcida de contratações, tanto de pessoal científico como de pessoal de apoio técnico.

IV. RECURSOS MATERIAIS

Podemos dizer com confiança que nenhum dos grupos constantes do quadro, estão trabalhando em condições adequadas no que diz respeito à infraestrutura material.

Boa parte do equipamento necessário não pode ser encontrada no Brasil, necessitando sua importação. Esbarramos aí num problema comum à toda comunidade brasileira, a grande dificuldade na importação destes equipamentos.

Sugerimos que o Ministério da Ciência e Tecnologia, crie uma comissão especial, para estudar junto a CACEX, SEI e Receita Federal, mecanismos que visem agilizar a importação de equipamentos científicos, de maneira a poupar os pesquisadores do trabalho extenuante de acompanhamento do processo de importação, bem como, dos atrasos que acabam por prejudicar a atuação dos grupos brasileiros nas colaborações internacionais.

Finalizando este documento, chamamos a atenção para o caráter pioneiro e ainda jovem de muitas de nossas atividades, o que exige uma política de apoio firme e lúcida por parte dos organismos de fomento à pesquisa, ainda não totalmente habituados a estas linhas de pesquisa no Brasil. O sucesso de nossas atividades depende em parte da capacidade com que estes organismos venham a compreender nossas necessidades, e num processo de interação com estes grupos buscando uma forma de conhecê-los e atendê-los satisfatoriamente.

Participaram da redação deste documento os seguintes pesquisadores, reunidos em Caxambú de 16 à 10 de setembro p.p:

CBPF

Alberto F.S. Santoro, João Carlos dos Anjos, Luiz Carlos Santos de Oliveira, Moacyr H. Gomes e Souza e Neusa Amato.

IFUSP

Carlos Ourivio Escobar

UFF

Hélio Manoel Portella e Regina H.C. Maldonado

UFPA

Miguel Luksys

UNICAMP

Inácio Malmonge Martin e José Augusto Chinellato

Comissão Organizadora do Encontro de Física de Vítimas, Escalares e Grupos de Trabalho, realizado em dezembro de 1984

Grupos Experimentais em Física de Altas Energias e Radiação Cósmica: Situação em Setembro de 1987

Grupo	Projeto-Colaboradores Intern.	Nº de Pessoas Envolvidas*	Início	Infraestrutura Existente
UNICAMP	Laboratório em Mina Profunda: muons, astronomia de neutrinos-Itália e URSS	5P+1T (UNICAMP)	-- --	Disponibilidade de espaço na mina de Morro Velho, Nova Lima, MG. Oficinas da UNICAMP
UNICAMP/ UFPP/IFUSP	Radiação Cósmica com Balões: Anomalia Magnética no Brasil, e ⁻ , P ⁺ s etc. - URSS	5P+1T (UNICAMP) 1P (UFPP) 1P+1I.C. (IFUSP)	10/87	Balões fornecidos pela URSS, parte dos detectores da URSS - Lançamento dos balões UNICAMP
UNICAMP/ UNFPb	Composição da Radiação Cósmica voo de Balões - Japão	4P (UNICAMP) 2P+3T+1M (UFPP)	01/87	Balões fornecidos pelo Japão - Análise na UNICAMP e no futuro-UFPP
UNICAMP	Chuveiros Extensos em Chacaltaya -Itália	4P+1T (UNICAMP)	1982	Laboratório em Chacaltaya - Análise na UNICAMP
UNICAMP/ CBPF/UFF	Câmara de Emulsões em Chacaltaya -Japão	8P+T's (UNICAMP) 3P+3T+2D (CBPF) 5P+1M+3I (UFF)	1962	Laboratório em Chacaltaya - Análise na UNICAMP e CBPF
UFPP/ UNICAMP/ IFUSP	Radiação Gama de Energias Ultra-Altas - Itália	2P+3T+1M (UFPP) 3P+1T (UNICAMP) 1P+1M+1I.C. (IFUSP)	1988	Oficinas UNICAMP, UFPP, USP
UFPP	Chuveiros Extensos c/ Cintiladores	2P+3T (UFPP)	1989	Eletrônica e Oficinas na UFPP
CBPF	Fotoprodução de Charme (Fermilab E-691) - Hadroprodução de Charme (Fermilab E-769) EUA, Canadá	3P+5D+3T (CBPF)	1984	Capacidade de Análise de Dados (Processadores paralelos em instalação)
CBPF	Experiência NA22 e NA27 no CERN- Internacional (muitos países)	2P+1D+1M+6T (CBPF)	1985	Capacidade de Análise de Dados (fotografias + computadores)
IFUSP	Decaimento Radiativo de Hiperons (Fermilab E-761) EUA + URSS Fotoprodução de Charme (E-691)	2P+1D (IFUSP)	1984	Capacidade de Análise de Dados
PUC/UFRJ	Colaboração DELPHI-LEP (CERN) Internacional (muitos países)	1D (PUC) 1D (UFRJ)	?	

* P...pesquisadores

T...técnicos

I...estudante Iniciação

M...estudante Mestrado

D...Doutorando

AUXÍLIO DA SOCIEDADE AMERICANA DE FÍSICA À AMÉRICA LATINA

Segundo informações dos Drs. L. Lederman e R. Rubinstein, do FERMILAB, e do Prof. L.M. Falicov, da Universidade da Califórnia, Berkeley, o Departamento de Energia dos Estados Unidos concedeu um auxílio de cem mil dólares (US\$ 100,000.) para apoiar projetos de Física em vários países da América Latina. Aproximadamente a metade destes recursos estão “reservados” para o Brasil. (Não existe uma divisão rígida dos recursos pelos países envolvidos.)

Este auxílio é uma continuação de um auxílio anterior, concedido pela National Science Foundation à Sociedade Americana de Física, com a mesma finalidade.

Para assessorar o FERMILAB na distribuição destes recursos no Brasil, foram indicados os Profs. Alberto Santoro (CBPF) e Cylon Gonçalves da Silva (LNLS). Afim de tentar otimizar o uso destes recursos, dados o seu pequeno montante, as condições de contorno do FERMILAB e à experiência com o auxílio anterior, foram estabelecidas as seguintes regras.

1. PAGAMENTO DE “PAGE CHARGES”. Esta forma de auxílio estará sujeita às seguintes observações:

- a) só serão considerados Periódicos científicos do American Institute of Physics.
- b) só serão pagas, no máximo cem (100) separatas sem capa.
- c) os interessados deverão encaminhar a um dos assessores acima mencionados, a “pro-forma” da revista e uma cópia do artigo em questão.
- d) esta modalidade de auxílio estará em vigor a partir da publicação deste na Revista Brasileira de Física até se esgotarem os recursos.

2. AUXÍLIO PARA PARTICIPAÇÃO EM CONGRESSOS. Esta modalidade de auxílio estará sujeita às seguintes observações:

- a) o interessado tenha trabalho aceito na conferência (congressos e reuniões científicas em geral).
- b) o interessado deverá encaminhar pedido de auxílio – sem formulário pré-estabelecido – a um dos assessores, com informações completas sobre o congresso, data, local, tema, cópia do trabalho a ser apresentado e endereço para contato nos Estados Unidos.
- c) o auxílio cobrirá apenas:
 - I. taxa de inscrição.
 - II. pagamento de despesas de estadia e alimentação até no máximo de US\$ 80.00 (oitenta) dólares americanos por dia.
- d) os pagamentos só poderão ser feitos a base de apresentação de recibos, incluindo cópia do bilhete aéreo utilizado, mesmo não tendo sido este pago pelo auxílio aqui descrito.
- e) é possível fazer um adiantamento, porém com prestação de contas e apresentação de recibos a posteriori devendo-se observar a devolução de saldo (se houver).

- f) deve ser previsto um prazo de pelo menos três semanas entre o recebimento do pedido e o seu atendimento.

3. ASSINATURA DE PERIÓDICOS CIENTÍFICOS. Esta modalidade de auxílio será considerada somente em caráter emergencial para grupos de pesquisa já estabelecidos, levando-se em consideração:

- a) o limite máximo de US\$ 1,500. (Hum mil e quinhentos) dólares americanos por instituição.
- b) somente periódicos científicos americanos.
- c) os interessados deverão enviar pedido a um dos assessores acima designados com informações completas e justificativas.

4. AQUISIÇÃO DE PEQUENAS PEÇAS E/OU COMPONENTES. Salienta-se o caráter absolutamente emergencial para este tipo de auxílio, dado o reduzido montante do mesmo. Devem ser observados os seguintes pontos:

- a) dar-se-á preferência a reposição de peças ou componentes de sistema em uso pelo(s) pesquisador(es), assim como, a completar um sistema recém-adquirido para o seu funcionamento imediato.
- b) a transferência do material para o Brasil, respeitada a legislação em vigor, será de total responsabilidade do interessado.
- c) os interessados em utilizar esta modalidade deverão enviar uma descrição (uma página no máximo) das pesquisas a serem realizadas com a aquisição do material requerido.
- d) nome e endereço completo do fornecedor e todas as especificações técnicas detalhadas. Também o nome e endereço completo para entrega do material.
- e) por cortesia do FERMILAB, o processo de aquisição do material ficará a encargo deste.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Toda a documentação deverá ser em Inglês e Português (Não precisam ser traduzidos para o Português documentos comerciais, "invoice", "proforma", etc.).

Fica a critério dos assessores o atendimento para casos especiais desde que justificados e que se enquadrem em um dos tipos de auxílio acima referidos.

A distribuição dos recursos por item de auxílio será a seguinte:

- a) Para os dois primeiros tipos (Pagamentos de "page charges" e Participação em Congressos respectivamente) serão reservados US\$ 30,000. (trinta mil) dólares americanos.
- b) O restante do auxílio será usado nos itens 3 e 4, ambos em caráter emergencial (assinatura de periódicos e aquisição de pequenas peças e/ou componentes).

Aceitam-se sugestões para melhorar o assessoramento dos recursos acima referidos.

Para dar início ao processo de pedido de auxílio, os interessados deverão se dirigir a um dos assessores no endereço abaixo:

ALBERTO F. S. SANTORO
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas/CNPq. Rua Dr. Xavier Sigaud, 150
CEP 22290 – Rio de Janeiro – R.J. Telex: 021-22563 CBPQ – BR
Telefone: (021) 541-0337

Prof. CYLON E. T. GONÇALVES DA SILVA
Laboratório Nacional de Luz Síncrotron. CNPq/MCT. Cx. Postal 6192
Campinas 13081 – S.P. – Brasil – Telex: 019-1150 – UCPS – BR
Telefone: (0192) 51-2624

PROPOSTAS PARA OS C.As. DE FÍSICA E ASTRONOMIA DO CNPq ELABORADAS PELA SECRETARIA REGIONAL DA SBF DO RIO DE JANEIRO

A atual reestruturação do CNPq veio satisfazer algumas das aspirações longamente reclamadas pela comunidade científica ao incorporar representantes desta comunidade em suas estruturas deliberativas. Estas mudanças foram cristalizadas nos novos estatutos e regimento interno recentemente aprovado.

O Conselho Deliberativo é o órgão máximo de formação e gerenciamento da política científica e tecnológica adotada pelo CNPq. Conseqüentemente, a integração deste Conselho com membros escolhidos pelos cientistas é uma peça importante dentro de um processo que visa democratizar a atividade científica. Entretanto, estes objetivos não se concretizarão se não forem criados mecanismos e canais adequados de contato entre o C.D. e os pesquisadores, para permitir a participação permanente dos cientistas na administração, gerenciamento e formulação da política científica nacional.

Do nosso ponto de vista os C.As. deveriam ocupar este espaço de interface entre o C.D. e a comunidade, transformando-se no representante dos cientistas frente ao CNPq, assessorando o Conselho na formulação da política científica em relação aos aspectos específicos das diferentes áreas de conhecimento.

Dentro deste contexto, a participação nos C.As. deverá ser encarada como um serviço de grande significação que o cientista presta a seus colegas, procurando obter deles, das mais variadas formas, subsídios para o seu desempenho.

Para que os objetivos propostos para os C.As. possam ser concretizados, eles devem ocupar uma posição de destaque dentro da estrutura orgânica do CNPq e seus membros devem ser representantes legítimos da comunidade.

. ESCOLHA DOS MEMBROS DOS C.As. DE FÍSICA E ASTRONOMIA

Para que os membros dos C.As. possam assumir plenamente seu papel de representantes dos cientistas frente ao C.D., pensamos que o processo de escolha deva ser pautado de acordo com os seguintes critérios:

- 1º – Mérito Acadêmico.
- 2º – Representação de diferentes áreas da Física, considerando particularmente o equilíbrio teórico-experimental.
- 3º – Equilíbrio regional, dentro de cada região (quando for pertinente) rodízio entre as diferentes instituições.

Esses critérios têm como objetivo possibilitar que as especificidades das áreas da física, regionais e institucionais, possam estar representados, facilitando também o contato de toda a comunidade com o C.A.

Quanto à escolha dos membros de Física, propomos que esta seja organizada pela S.B.F., seguindo um procedimento a ser definido através de consulta ampla à comunidade de Físicos.

Como subsídio para a discussão fazemos a seguinte proposta:

- I) A S.B.F. solicitaria a todos os Departamentos de Física com atividades de pesquisa reconhecidas pelas instituições de fomento (CNPq, FINEP, FAPESP), que enviassem um número de quatro nomes de pesquisadores de diferentes áreas da Física com nível científico equivalente ao das categorias I-A, I-B e I-C de bolsas de pesquisador do CNPq.
- II) A S.B.F. agruparia todos os nomes recebidos, nas áreas da Física estabelecidas pelo CNPq, especificando as suas regiões, e submeteria esses nomes à eleição por todos os físicos classificados como pesquisadores pelo CNPq, e todos os pesquisadores com grau de doutor trabalhando em instituições de pesquisa.
- III) Cada pesquisador votaria em um nome de cada área de pesquisa.
- IV) Os 3 mais votados dentro de cada área constituiriam listas triplas a serem enviadas ao C.D.
- V) O C.D., seguindo critérios acima mencionados, escolheria os membros do C.A. das listas triplas enviadas.

. NORMAS GERAIS DE ATUAÇÃO DOS COMITÊS ASSESSORES

Com relação à normatização das atividades do C.A. de Física e Astronomia, achamos fundamental que ela se enquadre dentro de uma política que estabeleça como objetivos centrais: 1) o aumento do número e a qualidade dos físicos; 2) integração de grupos teóricos com grupos experimentais; 3) o fomento da colaboração entre instituições brasileiras, visando incentivar uma maior interação entre os grupos de pesquisa. Esta política possibilitará um amadurecimento maior da física nacional tornando-a autônoma e independente e conseqüentemente mais criativa. Estes objetivos requerem a formulação de planos nacionais de pesquisa nas diferentes áreas e a ampliação da infraestrutura de pesquisa atualmente existente.

É necessário por um lado, a formação de recursos humanos de alta qualificação e, por outro, a criação de condições materiais (bibliotecas, laboratórios, bolsa de pesquisador, participação em congressos, etc.) para que a pesquisa possa ser praticada adequadamente.

Os critérios e métodos aplicados pelo C.A. para conseguir esses objetivos não podem ser implícitos, desconhecidos e passados de um C.A. para outro por tradição oral. Eles devem estar organizados num corpo normativo **explicitamente formulado e público**, abrangendo desde as questões mais gerais até as mais específicas. A sua elaboração requer a participação de toda a comunidade de físicos, para que o consenso permita que a sua aplicação seja legítima.

Nesse sentido propomos a seguir um conjunto de normas gerais que devem guiar a atuação dos Comitês:

- 1 – A avaliação das solicitações de auxílio deve ser feita com base em exigências de caráter acadêmico e profissional, a partir da qual se estabeleceria uma ordem de prioridades a ser satisfeita de acordo com as disponibilidades orçamentárias do momento ou do futuro.
- 2 – O julgamento da renovação de bolsa de pesquisador deve se pautar apenas no mérito do projeto e do pesquisador e, não no método comparativo, garantindo desta forma estabilidade para o desenvolvimento de um trabalho sério e continuado.
- 3 – No caso do não atendimento total ou parcial da solicitação de auxílio, o C.A. deve enviar ao solicitante um parecer detalhado e explícito. Isto contribuiria inclusive para orientar os pesquisadores nos seus futuros pedidos.

- 4 – Deve ser criada uma instância ágil a qual o pesquisador possa, em tempo hábil, recorrer em caso de não concordância com a decisão do C.A.
- 5 – As reuniões do C.A. devem ser retratadas em atas públicas, disponíveis a todos os membros da comunidade.

A implantação dessas propostas instauraria um estilo de atuação baseado na transparência da gestão e na confiança da comunidade em relação ao C.A., uma vez que seus projetos estariam sendo julgados por normas objetivas e legítimas por todos perfeitamente conhecidas.

Secretaria Regional SBF-RJ

CRIAÇÃO DE UMA COMISSÃO ESTADUAL DE FISCALIZAÇÃO NUCLEAR

Em fins de novembro de 1987, o deputado estadual paulista Ivan Valente encaminhou à mesa da Assembléia um projeto de lei criando uma "Comissão Estadual de Fiscalização e Licenciamento Nuclear". Embora essa seja uma iniciativa em âmbito estadual, ela vem de encontro com a antiga reivindicação da comunidade científica de criação de uma comissão independente e autônoma, em nível federal, de fiscalização, normatização e licenciamento de instalações nucleares.

O projeto de lei está transcrito em seguida para apreciação da comunidade.
(ENTREGUE À MESA EM 27 NOVEMBRO DE 1987)

PROJETO DE LEI Nº 815, DE 1987

Cria a Comissão Estadual de Fiscalização e Licenciamento Nuclear.

A Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo decreta:

Artigo 1º – Fica criada a Comissão Estadual de Fiscalização e Licenciamento Nuclear no âmbito da Secretaria de Estado do Meio Ambiente;

Artigo 2º – A Comissão Estadual de Fiscalização e Licenciamento/Nuclear será responsável pela fiscalização e licenciamento de todas as atividades nucleares em território paulista, tendo livre acesso a qualquer dependência onde estejam instalados reatores nucleares; qualquer tipo de depósito de fontes nucleares; enriquecimento de urânio ou qualquer tipo de material radioativo; aparelhos de radioterapia e radiodiagnóstico; centros de pesquisas nucleares; unidades industriais que façam uso de fontes radioativas e depósitos de rejeitos nucleares;

Artigo 3º – A Comissão Estadual de Fiscalização Nuclear terá a seu dispor, dentro dos quadros da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, uma equipe de técnicos especializados na fiscalização e preparados para intervir em qualquer tipo de acidente nuclear ocorrido no território do Estado de São Paulo;

Artigo 4º – O Presidente da Comissão Estadual de Fiscalização Nuclear será nomeado pelo Secretário Estadual de Meio Ambiente baseado em lista tríplice apresentada pelas seguintes universidades estaduais;

- Universidade de São Paulo – USP
- Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
- Universidade Estadual Paulista "Julio Mesquita Filho" – UNESP, através de seus Institutos e Departamentos de Física.

Artigo 5º – Qualquer empreendimento que processe ou faça uso de materiais nucleares no território do Estado de São Paulo deverá requerer licença para funcionamento à Comissão Estadual de Fiscalização e Licenciamento Nuclear, apresentando o tipo de ma-

terial a ser utilizado; projeto detalhado de segurança; efeitos para o meio ambiente e plano de emergência para casos de acidentes;

Artigo 6º – Esta lei entrará em vigor na data de sua publicação.

JUSTIFICATIVA:

No plano internacional, especialmente nos países desenvolvidos, tem havido uma séria polêmica sobre os riscos de acidentes nucleares e contaminação radioativa do meio ambiente com os efeitos conseqüentes para as populações. Infelizmente, tais preocupações têm aumentado após inúmeros acidentes nucleares verificados em todo o mundo, onde Chernobyl e Goiânia estão entre os de maiores conseqüências.

O acidente de Goiânia, com uma cápsula de Césio 137, proveniente de um aparelho radioterápico, atordoou o país pelas suas conseqüências e desnudou a política nuclear brasileira, controlada pelas forças armadas através da CNEN e, que vinha há algum tempo, sendo alvo de críticas e denúncias de diversos setores organizados da sociedade civil. Tal acidente, demonstrou que a preocupação maior e única da CNEN era e é a produção de energia e de artefatos militares através do uso da fissão nuclear, consumindo bilhões de dólares dos cofres públicos e relegando a segundo plano a fiscalização e controle das fontes radioativas existentes no país. Por outro lado, ficou evidente para a nação a necessidade de tornar transparente, à população brasileira os rumos do programa nuclear, não aceitando mais a sua clandestinidade e as decisões tomadas nos gabinetes e, sem a participação popular.

Desta forma, trazer para o domínio do Estado de São Paulo o controle das fontes radioativas existentes no Estado, constitui fundamental iniciativa para que o poder público possa colaborar decisivamente no sentido de evitar tragédias semelhantes, ou de maiores proporções, à aquela de Goiânia, principalmente quando verificarmos que inúmeras fontes radioativas operam no território paulista sem o consentimento do poder público.

Sala das Sessões, em

a) Ivan Valente

Comunicado da Diretoria

SOBRE O PROJETO DA DIRETORIA DA SBF: “FÍSICA NA PRÓXIMA DÉCADA”

A Sociedade Brasileira de Física está empenhada num programa de ação cujo objetivo é contribuir para o planejamento do desenvolvimento científico.

É nosso entendimento que uma vez efetuado o Levantamento da Física no Brasil, retratando seu estado hoje, a extensão natural desse projeto seria fazer projeções para o futuro da Física no Brasil. Este é o objetivo do projeto “Física na Próxima Década”, no qual se pretende estabelecer um plano de médio ou longo prazo – cerca de 10 anos – para a Física no Brasil.

Esperamos que esse projeto venha a servir como base para ações que visem o desenvolvimento das diversas áreas da Física ao longo da próxima década. A intenção da Diretoria, que propõe esse projeto, é contribuir para planejar-se o desenvolvimento das diversas áreas da Física, e que esse desenvolvimento se dê de forma ordenada, planejada e amplamente discutida.

A Diretoria da Sociedade propõe, para efeito desse levantamento, a divisão da Física em 9 áreas, a saber:

1. Ensino
2. Física Atômica e Molecular
3. Física Nuclear
4. Física de Plasmas
5. Grandes Projetos
6. Matéria Condensada
7. Partículas, Campos, Cosmologia e Gravitação
8. Ótica
9. Outras Áreas e Áreas Interdisciplinares
10. Novos Materiais

O projeto consiste basicamente em fazer com que cada área da Física estabeleça sua metas de desenvolvimento para a próxima década. Estas metas serão coligidas em um documento a ser publicado pela SBF contendo o resultado desse levantamento. Propomos que o documento aborde os seguintes pontos:

1. **Direções** que as diversas áreas deverão tomar no Brasil e as justificativas para um tal direcionamento.
2. **Projetos** de cada área, independentemente do custo, e que tenhamos competência para executar.
3. Necessidades, em termos de recursos humanos, para a realização desses projetos.
4. Levantamento dos **equipamentos existentes** nos nossos Laboratórios, sua adequação, necessidades para a sua manutenção e aprimoramento dos mesmos.
5. **Recursos financeiros** necessários para a execução dos projetos novos, existentes e aqueles em andamento. Este levantamento dos recursos financeiros nos permitirá determinar quanto deveríamos investir para o cumprimento das metas de desenvolvimento da Física.

A Diretoria indicou Comissões que se responsabilizarão pelo levantamento das diversas áreas.

Os resultados desses trabalhos serão analisados e discutidos em reuniões tópicas das diversas áreas e, durante a Reunião da SBPC-SBF. Deverá promover-se, caso necessário, uma reunião, a mais ampla possível, de cada uma das áreas para a elaboração da versão final do documento.

Além dos aspectos já mencionados, consideramos relevante que cada área estabeleça, sempre que possível e sempre que houver consenso com respeito a isso, as prioridades e os eventuais projetos prioritários.

* **Nota:** Esperamos poder apresentar no próximo Boletim Informativo maiores informações sobre a composição das Comissões Coordenadoras de Áreas e respectivos programas de trabalho.

ESTUDOS DA BIOSFERA E GEOSFERA

A Secretaria Geral da SBF recebeu, da Secretaria Geral da International Union of Pure and Applied Physics, informe sobre o programa internacional de Estudos da biosfera e geosfera (International Geosphere-Biosphere Programme-IGBP). Trata-se da formação de um convite especial da ICSU (International Council of Scientific Unions) para iniciar um programa internacional de estudos de alterações globais produzidos por diversos fatores. Este programa deverá ter vinte anos de duração. A ICSU procura, desta forma, incentivar os estudos relacionados com a biosfera e geosfera e pretende aumentar nossa capacidade de prever mudanças do meio ambiente. Para desenvolver esta capacidade será necessário o esforço cooperativo e complementar de grupos voltados ao estudo de modelos climatológicos no sentido de incorporar, num nível apropriado, processos biológicos, geológicos e químicos nos modelos físicos do sistema terra.

O programa está dividido em painéis coordenados e grupos de trabalho. Os temas estão assim distribuídos:

PAINÉIS:

- Terrestrial Biosphere-Atmospheric Chemistry Interactions
- Marine Biosphere-Atmosphere Interactions
- Biosphere Aspects of the Hydrological Cycle
- Effects of Climate Change on Terrestrial Ecosystems

GRUPOS:

- Global Geosphere-Biosphere Modelling
- Data and Information Systems
- Techniques for Extracting Environmental Data of the Past
- Geo-Biosphere Observatories

Foram criados comitês para o IGBP nos seguintes países: Austrália, Chile, França, Hungria, Israel, Noruega, África do Sul, Suécia, Suíça, Inglaterra e Estados Unidos.

A primeira reunião está prevista para o período de 24 a 28 de outubro de 1988 em local ainda não escolhido.

Dada a importância de tal esforço parece oportuno que o Brasil tente, através de seus grupos de pesquisa e de órgãos de fomento, engajar-se neste programa. O caráter transdisciplinar do estudo em pauta, bem como, a sua extensa duração irá, certamente mobilizar e mostrar os trabalhos em ciência nos próximos anos. A cooperação internacional será primordial e o Brasil com suas características geográficas, será, sem dúvida, local de extensas investigações.

A Secretaria Geral da SBF poderá prestar informações complementares.

Henrique Lins de Barros
Secretário Geral

Congressos e Eventos

CONFERÊNCIA INTERNACIONAL PARA 1988/89 – IUPAP

Conference on Prec. Electromagnetic Meas. '88

Tsukuba, Ibaraki, Japan Organizer: Prof. Sogo Okamura
June 7-10 Tokyo-Denki University
 2-2 Kanda-Nishikicho,
 Chiyoda-ku
 Tokyo 101, JAPAN

IUTAM Symposium on Elastic Wave Propagation

Galway, Ireland Organizer: Prof. M. F. McCarthy
March 20-25 Dept. of Math. Physics
 University College
 Galway, IRELAND

19th Int. Conference on the Physics of Semiconductors

Warsaw, Poland Organizer: Prof. R. R. Galazka
August 15-19 Institute of Physics
 Polish Academy of Sciences
 Al Lotnikow 32/46, 02-668
 Warsaw, POLAND

Int. Conference on Magnetism

Paris, France Organizer: Prof. J. Friedel
July 25-29 Laboratoire de Physique des Solides
 Bat. 510
 Universite Paris Sud
 91405 Orsay, FRANCE

8th Int. Conference on Positron Annihilation

Gent, Belgium Organizer: Prof. Dorikens
Aug. 29-Sept. 3 Lab. Nuclear Physics
 I.N.W.
 Proeftuinstraat 86
 B-9000 Gent, BELGIUM

XXIV Int. Conference on High Energy Physics

Munich, W. Germany Organizer: Prof. G. Buschhorn
 August 4-10 Max-Planck Institut für Physik und Astrophysik
 Fohringer Ring 6
 8000 Munich 40, FRG

3rd Int. Conference on Nucleus-Nucleus Collisions

Saint-Malo, France Organizer: Prof. Claude Detraz
 June 6-11 GANIL
 BP 5027
 14021 Caen Cedex, FRANCE

5th Int. Conference on Clustering Aspects in Nuclear and Subnuclear Systems

Kyoto, Japan Organizer: Prof. H. Tanaka
 August 25-29 Dept. of Physics
 Hokkaido University
 Sapporo, JAPAN

Ion Beam Analysis VIII

Johannesburg, So. Africa Organizer: Prof. J. P. F. Sellschop
 April? Dept. of Physics
 Univ. of Witwatersrand
 Johannesburg, SOUTH AFRICA

3rd Asia-Pacific Physics Conference

Hong Kong Organizer: Prof. Chan
 June 20-25 Chinese University
 Hong Kong

Teaching Modern Physics – Condensed Matter

Munich, W. Germany Organizer: Prof. K. Luchner
 Sept. 12-16 Sektion Physik Universität
 Schellingstrasse 4
 D-8000 Munich 40, FRG

11th Int. Conference on Atomic Physics

Paris, France Organizer: Prof. S. Haroche
 July 4-8 Laboratoire de Physique de l'Ecole
 24 rue Lhomond
 75005 Paris, FRANCE

XIth Int. Conference on Raman Spectroscopy

London, England
Sept. 5-9

Organizer: Dr. John F. Gibson
Scientific Secretary
Royal Society of Chemistry
Burlington House
London, W1V OBM, ENGLAND

4th Int. Symposium on Resonance Ionization Spectroscopy

Gaithersburg, MD
April 18-22

Organizer: Prof. G. S. Hurst
Inst. of Resonance Ion. Spec.
University of Tennessee
10521 Research Dr., Suite 300
Knoxville, TN 37932

17th Quantum electronics

Tokyo, Japan
June 18-22

Organizer: Prof. Koichi Shimoda
Optoelectronic Industry &
Tech. Development Assoc.
20th Mori Bldg.
7-4 Nishi Shinbashi
Tokyo, JAPAN

XIth Int. Congress of I.A.M.P.

SWANSEA, WALES, U.K.
July 17-27

Organizer: Prof. Aubrey Truman
Dept. of Mathematics
Univ. College of Swansea
Singleton Park
Swansea SA2 8PP, U.K.

Int. Symposium on Spacetime Symmetries

College Park, MD
May 24-28

Organizer: Dr. W. W. Zachary
Naval Research Laboratory
Washington, DC 20375 USA

Int. Conference on Computational Physics

Beijing, China
June 1-5

Organizer: Drs. X. W. Du & T. Y. Zhang
Inst. of Appl. Phys. & Computational Math.
P.O. Box 8009
Beijing, CHINA

5th Marcel Grossmann Meeting

Perth, W. Australia
August 8-12

Organizer: Prof. David Blair
Physics Department
Univ. of Western Australia
6009 AUSTRALIA

Statphys 17

Rio de Janeiro, Brazil
August (first week) 1989

Organizer: Prof. Constantino Tsallis
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
Rua Xavier Sigaud, 150 – URCA
Rio de Janeiro 22290, BRAZIL

Int. Conference on Nuclear Physics

São Paulo, Brazil
Aug. 20-25 or
Sept. 24-30, 1989

Organizer: Prof. Oscar Sala
Instituto de Física
C. Postal 20516
01498 – Sao Paulo, BRAZIL