

# Desvendando os segredos da tecnologia de estruturas microscópicas de semicondutores

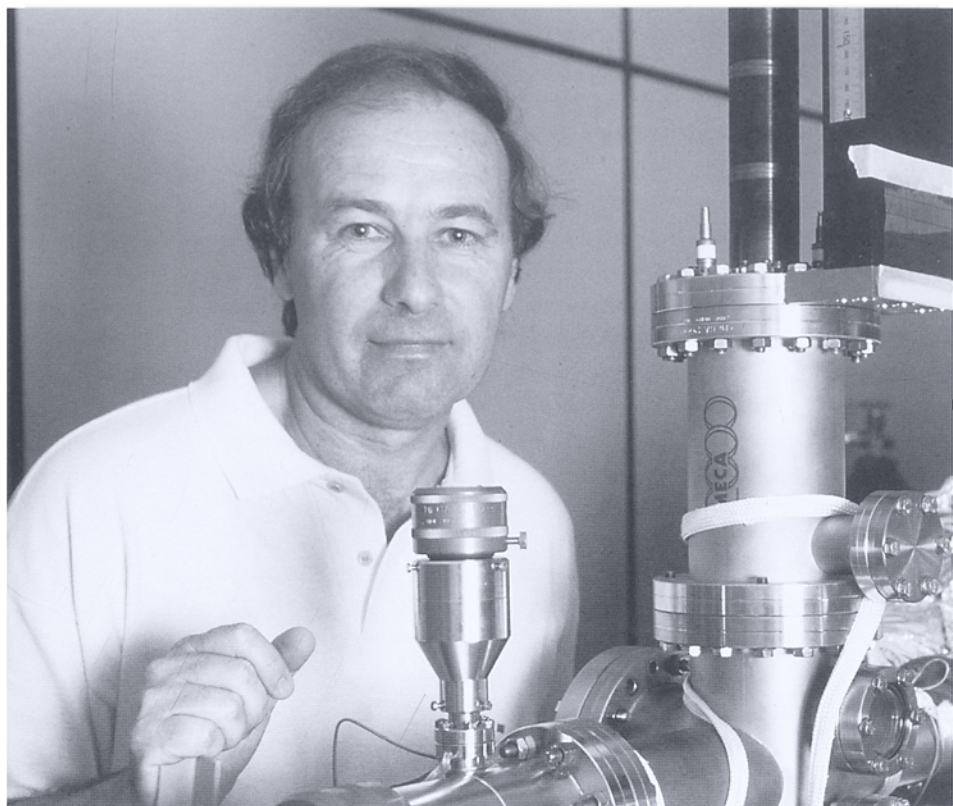


FOTO ELIANA ASSUMPÇÃO

Oscar Hipólito coordenou as pesquisas que levaram à produção de ligas e sanduíches de semicondutores

Pesquisadores do Instituto de Física da USP, em São Carlos, conseguiram dominar, em laboratório, a tecnologia de produção de estruturas microscópicas de semicondutores, componentes cada vez mais utilizados na indústria eletrônica. Eles permitem que se transmita, com mais eficiência e qualidade, as informações de um sistema eletrônico, seja, por exemplo, na formação de imagens na TV, no funcionamento de um telefone celular ou no acionamento do laser de um CD player.

São essas estruturas de semicondutores os componentes principais, também, dos chips, que garantem o processamento de informação dentro dos computadores. Imprescindíveis na informática, as vendas de chips devem totalizar em

todo o mundo, neste ano, cerca de US\$ 138 bilhões contra US\$ 129 bilhões, em 1996, segundo a Associação Industrial de Semicondutores dos Estados Unidos. No ano 2000, essa entidade faz a previsão de US\$ 245 bilhões de faturamento na vendas de chips.

## Compostos Químicos

As estruturas de semicondutores são filmes finíssimos formadas ou a partir de elementos químicos encontrados na natureza (sendo o silício o mais famoso e abundante) ou por compostos químicos, como o arseneto de gálio: um composto do arsênio (As) e gálio (Ga). Desde que os primeiros dispositivos semicondutores foram manufaturados, há mais de 20 anos, a ciência busca torná-los

menores e mais eficientes.

Em São Carlos, os pesquisadores do Instituto de Física, sob a coordenação do professor Oscar Hipólito, produziram dentro do projeto temático *Propriedades Eletrônicas de Estruturas Semicondutoras*, financiado pela FAPESP, diversos tipos de estruturas microscópicas de semicondutores — cerca de 1 milionésimo (0,000001) menor que um fio de cobre de 1 milímetro de diâmetro — ainda de produção comercial restrita a países de primeiro mundo.

“O objetivo deste projeto temático foi, principalmente, a formação de pessoal especializado nessa área, desenvolvendo as capacidades acadêmicas experimentais e teóricas do tema”, afirma o professor Oscar Hipólito, acrescentando ser importante o domínio de uma tecnologia de ponta, mesmo que não haja, a curto e médio prazos, perspectivas de produção em escala, no Brasil. Afinal, muitos desses microscópicos componentes ainda engatinham no uso prático e outros não compensam sua fabricação comercialmente. Aqui, se produzem dispositivos semicondutores de dimensões maiores, à base de silício, usados, por exemplo, em painéis solares e em equipamentos de som.

## Do projeto à confecção

Para dar uma ampla capacitação aos 32 pesquisadores envolvidos no projeto, todo o processo de produção de estruturas de semicondutores (desde o projeto, passando pelo desenho e terminando na própria confecção) foi realizado nos laboratórios do Instituto de Física da USP de São Carlos.

“Nós atingimos a produção de ligas e “sanduíches” de semicondutores, com a combinação de vários elementos químicos, como arsênio, gálio, alumínio e índio”, explica o professor Oscar Hipólito. “São ligas, como o arseneto de gálio, que permitem uma maior mobilidade dos elétrons, tornando mais eficaz a transmissão de informações dentro de um sistema, seja um computador ou um telefone celular”.

As ligas de semicondutores são produzidas em uma máquina chamada de MBE-Molecular Beam Epitaxy, ou Epitaxia por Feixes Moleculares, portadora de uma câmara de ultra-altovácuo que impede a presença de qualquer tipo de impureza indesejável, como carbono e oxigênio.

Epitaxia, palavra originária de epi, sobre, e taxis, ordem, é, na verdade, o nome de uma técnica que permite a produção de filmes superfinos de material semicondutor, pela deposição de elementos químicos diferentes, uns sobre os outros, formando uma espécie de “sanduíche” cristalino de materiais diversos, cuja espessura pode ser cuidadosamente controlada.

Tudo se passa dentro do MBE. Fornos especiais aquecem partes

sólidas de gálio e arsênio, por exemplo, para a formação do arseneto de gálio. Quando esses elementos primários se volatilizam, os átomos são agrupados em camadas sobre uma base mais larga e mais grossa, formada por um outro tipo de semicondutor, como o arseneto de índio, e assim sucessivamente.

A formação desse “sanduíche” de semicondutores se dá com a câmara do MBE à pressão de  $10^{-13}$  atmosferas (atm), próxima àquela encontrada no espaço sideral, que é de  $10^{-18}$  atm, enquanto a pressão atmosférica, ao nível do mar, é de 1 atm”, afirma o professor Pierre Basmaji, um dos professores-doutores da equipe. As camadas de ligas podem se constituir em trilhas condutoras de elétrons, também chamadas de poços quânticos devido a suas dimensões. Esse sistema permite a produção de vários dispositivos eletrônicos ultra-rápidos, como, por exemplo, transistores.

### Trilhas unidimensionais

Os pesquisadores de São Carlos, depois de obterem as camadas de semicondutores, executaram uma série de experimentos com as

trilhas, para aperfeiçoamento do processo, verificação da rapidez de resposta dos elétrons, além da eliminação da presença de impurezas. Fora isso, os físicos estudam os efeitos do confinamento dos elétrons devido às dimensões das trilhas.

“No fio de cobre, por exemplo, os elétrons estão em um mundo tridimensional (com comprimento, largura e profundidade) e nos semicondutores produzidos em laboratório, os elétrons percorrem trilhas bidimensionais (com comprimento e largura)”, explica o professor-doutor Euclides Marega Júnior, da equipe de pesquisadores.

Outros experimentos levaram à produção de semicondutores com cerca de 100 ângstrons (*f*) de espessura (1 ângstron equivale a  $10^{-10}$  de um metro ou um metro dividido em 10 bilhões de partes), que só tem uma dimensão, a do comprimento. “Nessas condições, aumenta a mobilidade dos elétrons e conseqüentemente a resposta do sistema”, revela Oscar Hipólito.

### Novos trabalhos

Esse projeto temático teve a participação de quatro professores-doutores, quatro doutorandos, oito mestrands, seis estudantes com bolsas de iniciação científica e dois técnicos. Durante esses quatro anos, a partir dessa pesquisa, eles tiveram 52 trabalhos publicados em revistas científicas de circulação internacional, além de apresentações dos resultados em 16 conferências internacionais. Em quatro anos, a FAPESP destinou ao projeto, R\$ 400 mil. Neste ano, também estará concluído o Laboratório de Processamento Litográfico, com recursos de R\$ 70 mil provenientes do Programa de Infra-estrutura da Fundação. Esse laboratório tem salas limpas, com o máximo de 1000 partículas por pé cúbico, e vai permitir a confecção de contatos (filmes) de amostras de estruturas semicondutoras produzidas pela equipe.

## A estrutura dos semicondutores

*Semicondutores são materiais que têm condutividade elétrica intermediária entre os metais e os isolantes. No senso comum, os metais seriam melhores condutores de eletricidade, mas os semicondutores apresentam vantagens.*

*Eles se diferenciam pela quantidade de elétrons livres em suas estruturas atômicas. Os*

*metais possuem muito mais elétrons, numa densidade de 1022 por  $cm^3$ , enquanto os semicondutores têm de 1012 a 1019 elétrons por  $cm^3$ .*

*A opção pelos semicondutores na microeletrônica vem do fato de se poder controlar o número de elétrons presentes nesses materiais, em contraposição ao que acontece com os metais.*