

COLABORADORES

Dalber Ruben Sanchez Candela (doutor)
 Jorge Elias Musa Carballo (doutor)
 Jorge Luiz Gonzalez (doutor)
 Ana D. Alvarenga (doutora)
 Maria da Penha Cindra Fonseca (doutora)
 Edson Passamani (pesquisador visitante)
 Li-Yang (pesquisador visitante)
 Sergio Garcia Garcia (pesquisador visitante)
 Julio Antonio Larrea Jiménez (doutorando)
 Ada Petronila Lopez (doutoranda)
 Marcos Morales (doutorando)
 Armando Biondo (doutorando)
 Pablo E. Munayco Solorzano (mestrando)
 Mariella Camarena (mestranda)
 Alexandre Mello (engenheiro)
 Eduardo S. Yague (engenheiro)
 Wilson Vanoni (físico)
 Henrique Duarte (técnico)
 Ivanildo de Oliveira (técnico)
 Walmir F. de Mendonça (técnico)
 Vicente Cunha (vidreiro)
 Fernando L. Stavale Jr. (iniciação científica)
 André França de Souza (iniciação científica)
 Jean-Philippe Dockier (iniciação científica)
 Henrique Duarte da Fonseca (iniciação científica)
 Júlio Alberto Guanabara Balociam (iniciação científica)

O impacto dos materiais avançados

A pesquisa na área de materiais tem sido importante elemento no desenvolvimento das sociedades modernas, fundadas na alta tecnologia. O impacto de materiais avançados, como ligas metálicas, semicondutores, filmes finos, cerâmicas, cristais líquidos e supercondutores, atinge todos os aspectos do mundo moderno, do nosso dia-a-dia à grande escala da economia mundial.

Salto para novas tecnologias envolvendo materiais sempre tiveram uma ligação estreita tanto com a pesquisa fundamental sobre as propriedades básicas da matéria em estado sólido – ou matéria condensada, como preferem os físicos – quanto com a pesquisa aplicada, que visa manipular as propriedades estruturais, físicas, químicas, elétricas, magnéticas, entre outras, da matéria.

Um dos objetivos da pesquisa na área da física da matéria condensada é desenvolver materiais cuja estrutura deve ser definida com precisão, em nível atômico, para dotá-los de propriedade e comportamento específicos para determinadas aplicações. Essa tarefa depende mais e mais da atuação conjunta de técnicas sofisticadas que vão da preparação e da caracterização ao entendimento teórico desses novos materiais.

>>>

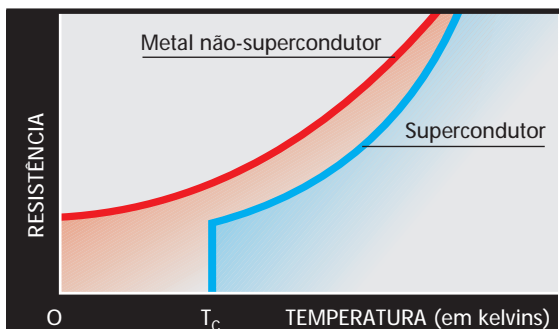


Figura 1. Comparação da variação da resistência elétrica segundo a variação de temperatura para um supercondutor e um metal normal. T_c é a chamada temperatura crítica, abaixo da qual a resistência elétrica em um supercondutor é nula.

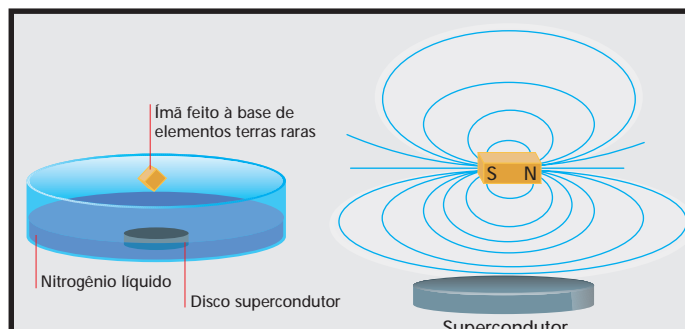


Figura 2. O ímã induz no material supercondutor correntes elétricas que, por sua vez, geram um campo magnético em seu interior. O campo magnético criado no ímã faz com que os dois materiais se repilam, fenômeno conhecido pelo nome de efeito Meissner. Para evitar, a força de repulsão deve ser igual ao peso do ímã.

Importantes linhas de pesquisa de ponta em materiais avançados estão presentes no CBPF, com um interesse voltado para as propriedades físicas e potencialidades tecnológicas desses materiais. Nossa capacidade instalada na área de física da matéria condensada, iniciada na década de 1970 pelo físico e químico brasileiro Jacques Danon (1924-1989), tem uma posição de destaque tanto no cenário brasileiro quanto internacional.

Passaremos agora a detalhar um pouco mais as áreas a que se dedica o Grupo de Materiais Avançados do CBPF.

I. SUPERCONDUTORES. O fenômeno da supercondutividade foi descoberto por Heike Kamerlingh-Onnes (1853-1926), em 1911, em Leiden (Holanda). Estudando as propriedades elétricas dos metais a temperaturas muito baixas, próximas do zero

absoluto (273 graus celsius negativos), esse físico holandês descobriu que a resistência elétrica se tornava nula no mercúrio (Hg) resfriado a 269,2 graus celsius negativos. Ele entendeu que o metal passava, abaixo de uma certa temperatura (temperatura crítica ou simplesmente T_c), para um novo estado, que chamou estado supercondutor, com base no surgimento de propriedades elétricas extraordinárias (figura 1).

Onnes, que recebeu o prêmio Nobel em 1913, tinha consciência da importância de sua descoberta para a ciência, bem como de seu potencial comercial. Um condutor elétrico sem resistência pode conduzir sem perdas corrente elétrica a grandes distâncias. Onnes, por exemplo, manteve uma corrente circulando em um fio de chumbo (Pb), resfriado a 4 kelvin (269 graus celsius negativos) durante um ano! Batizou essa corrente 'per-

GRUPO ORGANIZARÁ ENCONTRO MAIS IMPORTANTE DA ÁREA

No CBPF, o estudo da supercondutividade não é novidade. Há mais de uma década, seus pesquisadores têm contribuído para entender as propriedades desses materiais.

Os trabalhos realizados no Laboratório de Supercondutividade do CBPF têm uma abordagem bem abrangente, cobrindo desde a preparação dos materiais (caracterização estrutural, magnética e supercondutora) até a busca do entendimento dos mecanismos envolvidos, variando alguns parâmetros (composição, temperatura e pressão) de forma controlada.

Nosso programa de trabalho objetiva estudar: a) a relação do estado supercondutor com as propriedades magnéticas e estruturais desses mate-

riais; b) os efeitos de pressão hidrostática sobre a temperatura crítica (T_c), bem como sobre as propriedades de transporte, os efeitos de dissipação e as correntes críticas; c) efeito das substituições atômicas nas diversas propriedades; d) relação das propriedades com a microestrutura desses materiais; e) coexistência de magnetismo e supercondutividade.

Trabalhamos com várias cerâmicas supercondutoras e também com os compostos da família dos boros-carbetos de terras raras – um exemplo desses composto é o RNi_2B_2C , que contém nióbio (Ni), boro (B) e carbono (C), sendo que R representa um elemento terra rara).

Estamos também iniciando estudos dos férmions pesados supercondutores do tipo $CeRhIn_5$, formado pelos elemen-

tos químicos cério (Ce), ródio (Rh) e índio (In). Nessa área, realizamos estudos no sentido de acompanhar as modificações do estado fundamental desses materiais, induzidas por perturbações físicas e químicas controladas e direcionadas.

A comunidade internacional atribuiu ao nosso grupo a responsabilidade de organizar no Brasil, em 2003, a próxima M2S-HTS (*International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity and High Temperature Superconductors*), que é a conferência trianual mais importante na área de supercondutividade e faz parte de uma série de eventos iniciados em 1988 em Interlaken (Suíça).

sistente', pois ela circulava sem a aplicação de uma voltagem (ou, tecnicamente, diferença de potencial).

ENVIADA AO ESPAÇO. Desde então, esse fenômeno tem fascinado os cientistas, que conseguiram enormes progressos ao descobrir novos materiais supercondutores, aprofundando a compreensão dos mecanismos físicos responsáveis por esse novo estado, bem como concebendo aplicações tecnológicas dessa extraordinária propriedade (ver também nesta edição 'A supercondutividade').

Em janeiro de 1987, a área da supercondutividade passou por uma verdadeira revolução: a descoberta da supercondutividade acima da temperatura de liquefação do nitrogênio (77 kelvin, ou 196 graus celsius negativos), por Paul Chu e colaboradores, o que abriu enormes perspectivas para a aplicação prática desse fenômeno.

O impacto dessa descoberta pode ser estimado pelo fato de uma pastilha de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ter sido enviada ao espaço em uma cápsula como uma das 100 maiores descobertas do último milênio. Formado pelos elementos químicos ítrio (Y), bário (Ba), cobre (Cu) e oxigênio (O), esse material é hoje o mais estudado entre os novos supercondutores a alta temperatura.

LEVITAÇÃO MAGNÉTICA. A propriedade que distingue um supercondutor (SC) de um condutor perfeito é o diamagnetismo, que impede que as linhas de força de um campo magnético penetrem no material. Essa propriedade, conhecida como efeito Meissner – em homenagem ao físico alemão Walther Meissner (1882-1974) –, dá origem a um dos fenômenos mais intrigantes relacionados à supercondutividade: a levitação magnética (figura 2).

O estado supercondutor pode ser destruído de três modos: a) elevando a temperatura do material acima da temperatura crítica (T_c); b) aplicando uma corrente elétrica maior que a corrente crítica (I_c); c) sujeitando o material a um campo magnético acima do valor crítico (B_c). Esses fatores têm um papel importante quando se trata de construir dispositivos para aplicações.

ALTAS TEMPERATURAS. Em 1986, no Laboratório de Pesquisa da IBM, em Rüschlikon (Suíça), os pesquisadores Alex Müller e Georg Bednorz descobriram um composto cerâmico cuja temperatura de transição supercondutora jamais havia sido observada: 30 kelvin (243 graus celsius negativos). Assim, eles inauguravam a era dos supercondutores HT_c (sigla, em inglês, para supercondutividade a altas temperaturas).

O composto, tipo perovskita, formado pelos elementos químicos lantânio, bário, cobre e oxigênio – $(\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x)\text{CuO}_4$ –, serviu para que ambos ganhassem o prêmio Nobel de 1987. Os aspectos importantes são o aumento da T_c , bem como o fato de se tratar de um óxido. Ainda em 1987, com a substituição do lantânio pelo ítrio (Y), o valor de T_c foi para 92 kelvin (181 graus celsius abaixo de zero).

Pela primeira vez na história da supercondutividade, um grupo de pesquisas conseguia um material com T_c acima do ni-

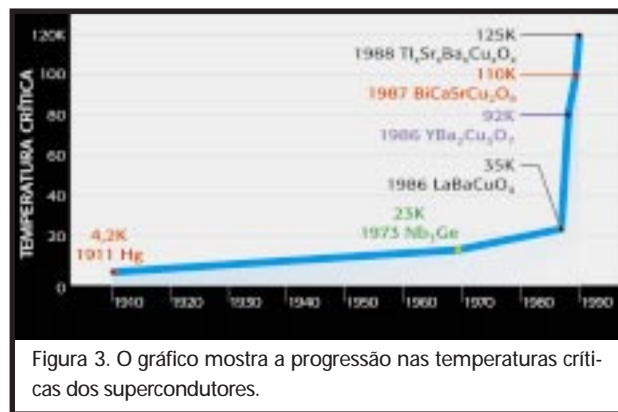


Figura 3. O gráfico mostra a progressão nas temperaturas críticas dos supercondutores.

EXTRAÍDO DE [HTTP://SUPERCONDUCTORS.ORG/LINKS.HTM](http://SUPERCONDUCTORS.ORG/LINKS.HTM)

trogênio líquido (77 kelvin), abrindo perspectivas enormes para a aplicação desses materiais, pois a refrigeração por nitrogênio líquido é relativamente barata em comparação com o hélio líquido, elemento caro e pouco abundante.

Mais tarde, foram descobertos outros materiais cerâmicos cuja temperatura era superior aos 92 kelvin. Hoje, o recorde, a pressão ambiente, é de 135 kelvin (138 graus celsius negativos) para um composto formado por mercúrio, tálio, bário, cálcio, cobre e oxigênio (figura 3).

FORMANDO PARES. Um SC tem a capacidade de conduzir corrente elétrica sem dissipação de energia, o que não acontece com um condutor comum. Em metais como cobre e alumínio, a corrente flui quando elétrons migram de um íon para outro, colidindo com impurezas ou imperfeições na estrutura (ou rede cristalina) desses materiais. Nesse caso, os choques fazem com que os elétrons sejam espalhados em todas as direções, perdendo com isso energia na forma de calor (figura 4a).

Em comparação com um condutor convencional, o movimento dos elétrons em um SC é muito diferente. Vibrações atômicas são responsáveis por unificar a corrente total, forçando os elétrons a se agruparem em pares (os chamados pares de Cooper). Assim, elétrons, que normalmente se repelem, passam a 'sentir' uma atração profunda em um SC (figura 4b). Em pares, eles passam então a se comportar como se fossem uma partícula única. Nesse estado, ao percorrer a rede cristalina do condutor, eles são capazes de superar todos os obstáculos que causam a resistência.

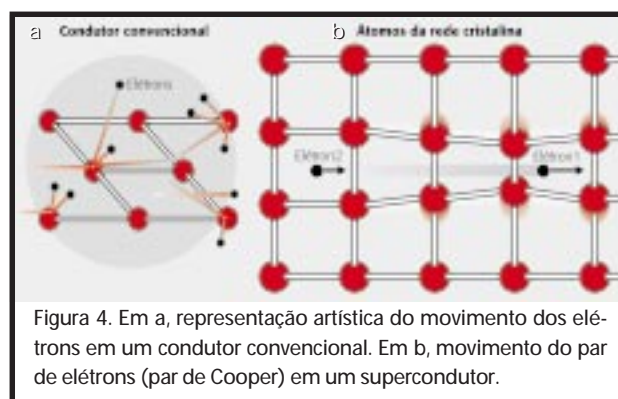


Figura 4. Em a, representação artística do movimento dos elétrons em um condutor convencional. Em b, movimento do par de elétrons (par de Cooper) em um supercondutor.

>>>

MECANISMO CONTROVERSO. A busca de mecanismos responsáveis pela supercondutividade a altas temperaturas ainda permanece um dos problemas mais relevantes na física da matéria condensada.

Estudos do efeito de altas pressões sobre a temperatura crítica de cerâmicas supercondutoras permitem definir as substituições de um elemento químico por outro que possam aumentar ainda mais os valores dessa temperatura e proporcionar um melhor entendimento dos aspectos básicos dos materiais de HT_c.

O mecanismo por trás da formação dos pares de Cooper é ainda controverso para explicar a supercondutividade nos cupratos (compostos de óxido de cobre).

NOVAS IDÉIAS. Os novos supercondutores a alta temperatura, como o $\text{La}_{1,85}\text{Ba}_{0,15}\text{CuO}_4$, violam os limites previstos pela teoria BCS, batizada assim em homenagem aos seus idealizadores, os físicos norte-americanos John Bardeen (1908-1991), Leon Cooper e John Schrieffer, que ganharam o Nobel de 1972 por esse trabalho.

Teóricos, como o físico norte-americano Philip Anderson, da Universidade de Princeton, em Nova Jersey (Estados Unidos) e premio Nobel de 1977, estão buscando teorias que incluam novas interpretações. Entre elas, está, por exemplo, a possibilidade de formação de pares de Cooper também por interação magnética – na teoria convencional, essa interação é elétrica.

Uma parte da informação para entender a supercondutividade a altas temperaturas está no comportamento de um SC durante seu estado não supercondutor: o material mostra propriedades elétricas e magnéticas diferentes daquelas encontradas nos condutores convencionais.

Uma vez entendida a base do mecanismo nesses materiais, valores mais altos da temperatura crítica podem ser atingidos.

FITAS E FIOS. Em um mundo preocupado com formas limpas e econômicas de energia, bem como com seu armazenamento e

COLABORAÇÕES NACIONAIS E INTERNACIONAIS

O Grupo de Materiais Avançados do CBPF mantém colaboração na área experimental com a Universidade Técnica de Braunschweig e a Universidade Técnica de Colônia, ambas na Alemanha, e com a Universidade de Havana (Cuba).

Além disso, mantemos colaborações com diversos grupos em países como Estados Unidos, China, França, Polônia, Espanha, Peru, Índia, Marrocos e Coreia do Sul

Também importante para o sucesso dos nossos trabalhos são as colaborações com pesquisadores teóricos da Universidade Federal Fluminense e com experimentais da Universidade Federal do Espírito Santo e da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

EXTRAÍDO DE HTTP://WWW.AMSUPER.COM/

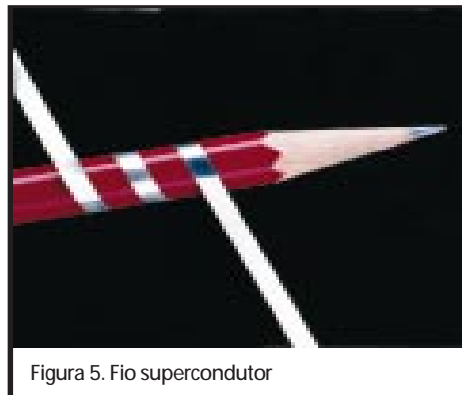


Figura 5. Fio supercondutor

sua transmissão através de longas distâncias, o estudo da supercondutividade adquire cada vez mais relevância. Por outro lado, a descoberta de novos materiais, a caracterização e o aperfeiçoamento daqueles já conhecidos, juntamente com as formas de utilização e questões teóricas, são um desafio e estímulo para o estabelecimento de novas parcerias entre ci-

ência básica, desenvolvimento e indústria.

Temperaturas críticas supercondutoras próximas àquela do nitrogênio líquido também criaram uma nova perspectiva para aplicações tecnológicas que podem ocorrer nas áreas de energia elétrica e da construção de ímãs para campos magnéticos intensos, bem como de eletromotores e sensores.

Fitas e fios supercondutores feitos de supercondutores HTc tornaram-se tema de grande interesse em todo o mundo devido às suas altas correntes críticas, pois essa característica permite visualizar importantes aplicações tecnológicas que talvez tragam ao nosso dia-a-dia progressos tão importantes quanto os causados pela tecnologia baseada nos semicondutores.

O FUTURO ESTÁ CHEGANDO. Já existem aplicações importantes de cerâmicas supercondutoras na geração, no armazenamento e na transmissão eficiente de energia. Elas também têm sido usadas na detecção de pequenos sinais eletromagnéticos e no desenvolvimento de tecnologia mais rápida e compacta para a telefonia celular.

Já sendo comercializados, os chamados SQUID (*Superconducting Quantum Interference Device*), sensores de campo magnético com muito baixa intensidade que podem funcionar tanto refrigerados por nitrogênio líquido quanto hélio líquido (4,2 kelvin), empregam cerâmicas supercondutoras. Cabos flexíveis supercondutores também já são realidade. Por exemplo, a empresa *American Superconductor* está usando supercondutores para fazer cabos multifilamentares de vários quilômetros de extensão.

Para breve, espera-se a aplicação de supercondutores na construção de trens velozes que usariam o princípio da levitação magnética, bem como de computadores super-rápidos. Vislumbra-se também o uso desses materiais nas áreas de comunicação por microondas (filtros e antenas); telecomunicações (estações de telefonia celular); tecnologia militar (filtro para sinais de radares); energia (emprego de cabos supercondutores que diminuiriam as perdas em torno de 15%); pesquisa espacial (dispositivos à base de materiais HTc); computação (máquinas com interface para semicondutores e supercondutores); medicina (SQUIDS milimétricos para a detecção de sinais magnéticos do coração e do cérebro).

II. FÉRMIONS PESADOS. Férmions pesados são compostos metálicos que, abaixo da temperatura do hélio líquido (4,2 kelvin ou 269 graus celsius negativos), apresentam propriedades físicas que revelam um aumento excessivo da massa efetiva dos elétrons de condução. Nos condutores convencionais, como fios de cobre, por exemplo, os elétrons de condução são os responsáveis pela corrente elétrica.

Férmions pesados são formados por um elemento magnético com camada eletrônica incompleta – em geral, a camada f – que pode ser uma terra rara (cério ou itérbio) ou um actínido (urânio ou tório) e um metal de transição (por exemplo, ferro, cobalto, níquel, cobre, entre outros). Algumas vezes, um férmion pesado pode conter também em sua composição germânio ou silício.

PROPRIEDADES EXÓTICAS. As propriedades físicas em baixas temperaturas são governadas pela competição entre duas interações principais: a interação magnética entre os elementos magnéticos, bem como pela interação elétrica exercida pelos elétrons de condução sobre os elétrons da camada incompleta dos elementos magnéticos. A interação magnética atua de forma a tornar o material magnético – em geral, com ordem tipo antiferromagnética –, enquanto a interação elétrica tende a cancelar o magnetismo.

Como consequência da competição entre essas duas interações, os férmions pesados podem assumir diferentes estados fundamentais, com propriedades físicas exóticas que diferem muito do comportamento normal observado nos metais comuns. Alguns férmions pesados apresentam transição supercondutora, como é o caso do $CeCu_2Si_2$ e UBe_{13} , e, em alguns casos, a supercondutividade pode até mesmo coexistir com uma ordem magnética, como ocorre para o URu_2Si_2 .

Em alguns compostos férmions pesados, ocorre um efeito especial em temperaturas abaixo da temperatura de hélio líquido (4,2 kelvin), que é o comportamento linear da resistividade em função da temperatura – a curva resistência *versus* temperatura é um reta. Esse comportamento não ocorre nos metais comuns, onde a resistividade tem uma dependência quadrática em baixas temperaturas – a curva se assemelha a uma meia parábola.

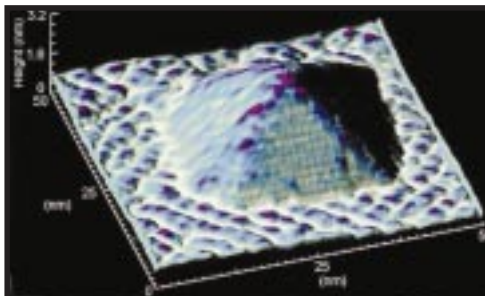
EXTRAÍDO DE [HTTP://WWW.NSF.GOV/NANO/](http://www.nsf.gov/nano/)

Figura 6. Pirâmide feita de átomos de germânio formada espontaneamente sobre uma base de silício. Esse tipo de técnica poderá ajudar no desenvolvimento de dispositivos eletrônicos extremamente pequenos.

mions pesados, o elemento magnético faz parte da rede.

Apesar do grande esforço teórico e experimental que tem sido dedicado por pesquisadores de todo o mundo, ainda falta o entendimento mais profundo das propriedades desses materiais.

Esse tema de estudo de física básica visa ao entendimento de fenômenos que são introduzidos com a descoberta de novos materiais com propriedades físicas incomuns. O acúmulo desses conhecimentos pode levar à descoberta de uma aplicação prática para os férmions pesados ou para os conceitos neles envolvidos.

III. FILMES FINOS. Nanociência e nanotecnologia são áreas emergentes que estão levando a um conhecimento e controle sem precedentes dos blocos constituintes da matéria. É o mundo funcionando em escalas dos nanômetros (ou bilionésimos de metro), tamanhos compatíveis com os de moléculas ou de átomos enfileirados.

Dois abordagens têm sido usadas com sucesso na produção de amostras nanoestruturadas: a) técnicas de litografia e máscaras, que permitem criar nanoestruturas que se estendem sobre grandes áreas da amostra; b) crescimento de nanoestruturas através de auto-organização de átomos e moléculas depositados sobre uma superfície (substrato).

ÁTOMOS MANIPULADOS. O modo pelo qual átomos e moléculas se organizam, em padrões de várias formas e superfícies em escala nanoscópica, determina propriedades importantes dos materiais, como condutividade elétrica, propriedades ópticas e mecânicas. A manipulação controlada de materiais nessa escala resulta em dispositivos com várias aplicações tecnológicas.

Com um computador e um microscópio de tunelamento – este último construído em 1981 por Gerd Binnig e Heinrich Rohrer, pesquisadores da empresa IBM, em Zurique >>>

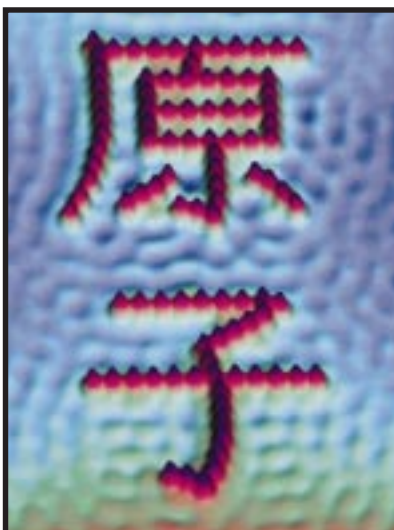
EXTRAÍDO DE [HTTP://WWW.NSF.GOV/NANO/](http://www.nsf.gov/nano/)

Figura 7. Palavra 'átomo', escrita no alfabeto japonês de Kanji, feita com o deslocamento de átomos. Essa técnica permitiria escrever as 25 mil páginas da edição de 1959 da *Enciclopédia Britannica* em um apenas um ponto (*pin head*).

(Suiça) –, é possível obter imagens extremamente aumentadas das topologias atômicas (figuras 6 e 7) – ver também nesta edição 'Microscopia do novo milênio':

Dentre os vários dispositivos para aplicação, estão os direcionados à gravação magnética em computadores. Nesse tipo de gravação, por exemplo, as informações são 'escritas' por uma cabeça de gravação magnética e 'lidas' por um dispositivo de leitura magnético no disco rígido, este também constituído por materiais magnéticos e para o qual se pesquisa o aumento da capacidade de armazenamento de informação em um espaço cada vez menor.

SPINTRÔNICA. Nessa área de manipulação de materiais metálicos em escala nanoscópica, o futuro aponta na direção do surgimento de uma nova era: a spintrônica, eletrônica baseada



Sentados (esq. para dir.): Henrique Duarte da Fonseca, Elisa Saitovitch, Magda Bittencourt Fontes e colaboradores.

no spin do elétron, uma propriedade que pode ser, grosso modo, associada à rotação do elétron em torno de seu eixo.

A capacidade de distinguir entre elétrons com spins opostos (rotação em sentido horário e anti-horário) é a chave para abrir as portas para uma nova geração de dispositivos eletrônicos, cuja operação se baseia na manipulação de famílias independentes desses portadores de corrente. ■

TÉCNICA AVANÇADA PRODUZ FILMES DE ALTA QUALIDADE

No Laboratório de Filmes Finos do CBPF, são produzidos diversos tipos de filmes na forma de ligas (co-deposição), monocamadas e multicamadas. O interesse é entender desde o comportamento de uma impureza magnética em metais magnéticos e não magnéticos até os mecanismos que regem as interações entre as multicamadas, de modo a aplicar esses resultados no planejamento de dispositivos tecnológicos.

Esses dispositivos são constituídos por camadas finas superpostas – com espessura da ordem de poucos nanômetros (bilionésimos de metro) – de metais com propriedades magnéticas diferentes, em uma combinação que resulta nos efeitos desejados. São os filmes finos e multicamadas magnéticas (figura 8).

Dois técnicas de fabricação de filmes finos e multicamadas metálicas estão em uso no CBPF: a) evaporação em ultra-alto vácuo; b) deposição por *magnetron sputtering*.

Na evaporação em ultra-alto vácuo, o material é depositado em uma superfície (substrato) a uma baixa taxa de deposição, geralmente menor do que uma camada de átomos por segundo. Isso resulta em um filme controlado camada a camada. Devido ao ultra-alto vácuo dentro da câmara de deposição, é

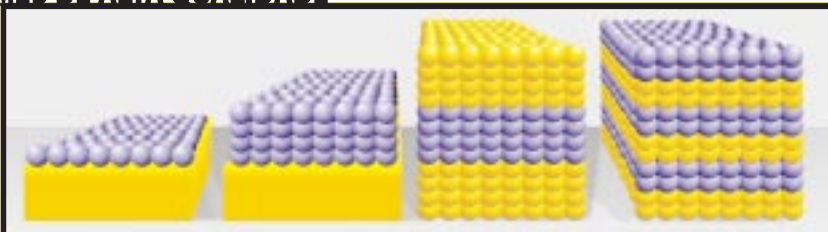


Figura 8. Representação das mono, bi, tri e multicamadas preparadas por deposição de dois metais. Nas duas primeiras, a parte amarela representa o substrato.

possível usar técnicas sofisticadas de caracterização, do tipo LEEDS e Auger, que envolvem a detecção de elétrons.

Alguns investimentos ainda são necessários para poder trabalhar em sistemas ligados à área de spintrônica, bem como estudar a topologia da superfície de filmes ou fazer manipulações em nível atômico.

O *magnetron sputtering* é uma técnica de deposição de materiais com taxas de deposição da ordem de 0,1 nanômetro por segundo. A técnica arranca átomos de um material (alvo) que se quer depositar sobre um substrato. Isso é feito através da formação de um de 'gás' do elemento argônio a altíssimas temperaturas – na verdade, não se trata de um gás, mas sim de um estado da matéria, denominado plasma, em que as partículas, devido à elevada temperatura, estão dissociadas. Todo esse processo ocorre em uma câmara de ultra-alto vácuo.

Apesar de permitir um bom controle

da taxas de deposição, a presença dos gases de *'sputtering'* exclui a possibilidade de se analisarem as estruturas dentro da câmara onde acontece o crescimento do filme. Em nossos laboratórios, já foram obtidas multicamadas que apresentam magnetorresistência gigante (fenômeno em que a resistência elétrica aumenta muito na presença de um campo magnético) – ver nesta edição 'Fenômenos e materiais magnéticos'.

Esse sistema de deposição por *magnetron sputtering* foi instalado recentemente e, pela alta qualidade dos filmes obtidos, deverá atrair o interesse da comunidade brasileira de pesquisadores dessa área.

A composição dos filmes finos – principalmente, na forma de multicamadas – é caracterizada através de vários métodos de análise, entre elas difração por raios X, magnetorresistência, magnetização, espectroscopia Mössbauer e ressonância ferromagnética.