

O fascinante mundo dos materiais Supercondutores

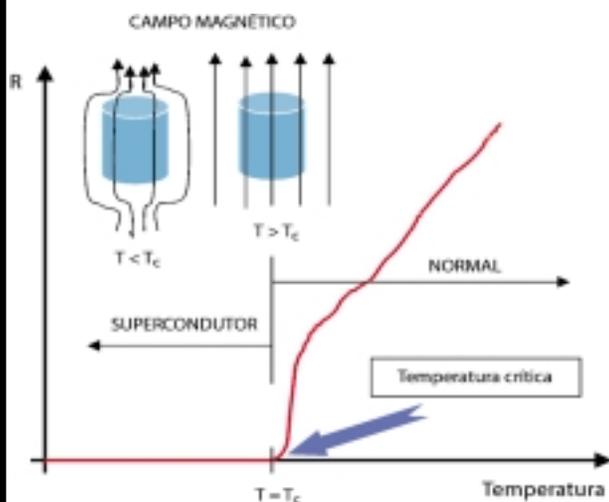
Novas descobertas despertam interesse não só pelo potencial tecnológico, mas também pela contribuição que a compreensão dos mecanismos desses materiais poderá trazer no campo da física básica



O fenômeno da supercondutividade foi descoberto em 1911 por Kammerlingh Onnes, em Leiden, Holanda. Ele foi o primeiro a conseguir a liquefação do gás hélio, que acontece em 4,2 K (aproximadamente $-268\text{ }^{\circ}\text{C}$). Onnes estava pesquisando as propriedades de diversos metais em temperaturas extremamente baixas, colocando o material no banho de hélio líquido. A descoberta da supercondutividade aconteceu por acaso, quando, em um desses experimentos, Onnes observou que a resistência do metal mercúrio caía inesperadamente a zero perto da temperatura de 4 K. Com essa descoberta, uma nova classe de condutores foi desenvolvida: os materiais supercondutores. A supercondutividade se converteria assim em um dos fenômenos físicos mais fascinantes e desafiadores do século XX. Kammerlingh Onnes ganhou o Prêmio Nobel de Física em 1913.

Até pouco mais de uma década atrás, a supercondutividade ocorria apenas em temperaturas muito baixas, da ordem de 25 K (ou -248 °C). Entretanto, a descoberta de novos materiais supercondutores, como os óxidos cerâmicos, os fullerenos, os borocarbeto e o composto intermetálico MgB_2 , tem despertado um enorme interesse na comunidade científica mundial, em razão do seu potencial tecnológico em termos de dispositivos (máquinas, sensores, detectores etc.) e pela contribuição que a compreensão dos seus mecanismos poderá trazer no campo da física básica.

Um material supercondutor é aquele que apresenta, simultaneamente, duas propriedades: baixíssima (quase nula) resistência à passagem de corrente elétrica e diamagnetismo perfeito.



Um supercondutor apresenta resistência nula (curva $R \times T$ vai para zero na temperatura crítica) e diamagnetismo perfeito (indicado pela seta) denominado de efeito Meissner. Para $T > T_c$, o material está no estado normal e o campo magnético penetra completamente. Para $T < T_c$, o material está no estado supercondutor e o campo magnético é expulso do interior do material.

Esta última propriedade é definida como o estado em que acontece a expulsão do interior do material (parcial ou completa) do campo magnético aplicado externamente. É conhecida como efeito Meissner-Hochsenfeld, ou, simplesmente, efeito Meissner. Quando o material supercondutor é esfriado, ele apresenta essas duas propriedades a partir da denominada temperatura crítica (T_c), na qual o material transiciona do estado normal para o estado supercondutor. As diferentes aplicações dos supercondutores estão limitadas basicamente pelo valor de T_c , pelo valor do campo crítico (H_c) e pela densidade de corrente crítica (J_c), definidos como os valores de campo e corrente que destroem o estado supercondutor quando esfriado abaixo de T_c . Esses três parâmetros definem uma superfície tridimensional dentro da qual o material se encontrará no estado supercondutor, e fora, no seu estado normal.

Em um condutor normal (isto é, não supercondutor), uma corrente elétrica diminui rapidamente devido à resistência do material à passagem dessa corrente. Já os materiais supercondutores conduzem eletricidade com praticamente nenhuma resistência, nada da energia elétrica é perdida quando ela flui através de um supercondutor. Assim, em um supercondutor, uma corrente continuaria a fluir para sempre, porque nenhuma resistência lhe é oferecida. Por exemplo, as correntes induzidas em um anel supercondutor persistem por muitos anos sem diminuir, mesmo não havendo nenhuma bateria alimentando o circuito.

Até 1986, todos os supercondutores conhecidos eram metais puros, ligas metálicas, compostos intermetálicos e semicondutores dopados, entre os quais a mais alta temperatura crítica era associada ao Nb_3Ge ($T_c = 23$ K ou -250 °C). Esses materiais são conhecidos como supercondutores de baixa temperatura crítica, ou LTS (da sigla em inglês *low-temperature superconductor*). A partir

daquele ano, a evolução do valor de T_C mostra uma variação abrupta, em função da descoberta, realizada por Bednorz e Müller nos laboratórios da IBM em Zurique (Suíça), dos supercondutores a base de Lantano, $La_{2-x}Ba_xCuO_4$. Esses materiais são conhecidos como supercondutores de alta temperatura crítica, ou HTS (da sigla do inglês *high-temperature superconductor*). Esses pesquisadores obtiveram, naquele mesmo ano, o Prêmio Nobel de Física por essa fantástica descoberta.

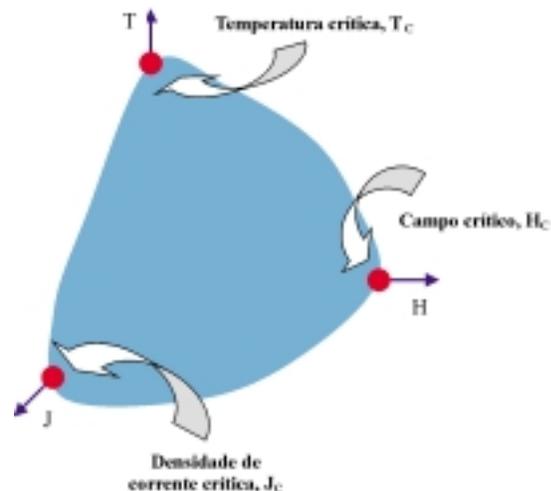
Embora a primeira interpretação da supercondutividade como sendo um fenômeno quântico tenha sido introduzida pelos irmãos Hans e Fritz London em 1934, foi a teoria de Ginzburg-Landau formulada em 1950 que forneceu um enorme volume de informação em relação aos mecanismos responsáveis pela supercondutividade. Essa teoria baseou-se na introdução de um parâmetro dependente da posição que seria uma medida da ordem dos portadores no estado superconductor (entendemos como portadores aquelas partículas responsáveis pelo transporte de carga no material). Esse parâmetro pode ser considerado como uma onda que é associada aos portadores supercondutores. Assim, uma única onda é associada com um número macroscópico de elétrons que consideramos condensados (isto é, formando os portadores supercondutores) no mesmo estado quântico. Isto significa que o estado superconductor pode ser visto como um estado quântico macroscópico.

A interpretação microscópica da supercondutividade veio mais de duas décadas depois de divulgada a primeira teoria fenomenológica enunciada pelos irmãos London. Essa teoria microscópica, conhecida como teoria BCS, foi formulada pelos físicos John Bardeen, Leon N. Cooper e J. Robert Schrieffer em 1957, e lhes rendeu o Prêmio Nobel de Física de 1972. Um dos conceitos mais importantes da teoria BCS é aquele que iden-

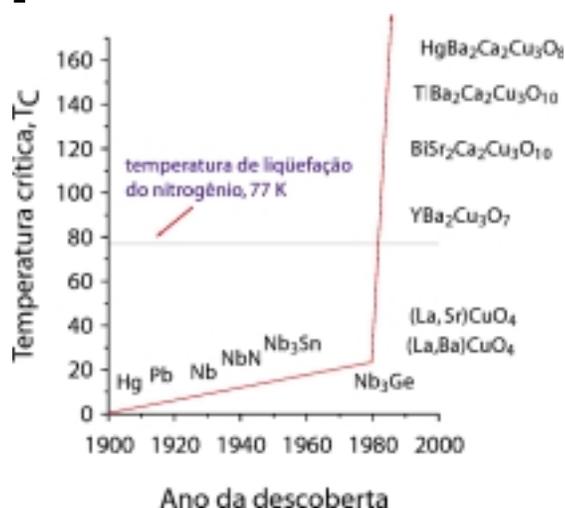
Um material superconductor é aquele que apresenta, simultaneamente, duas propriedades: baixíssima resistência à passagem de corrente elétrica e diamagnetismo perfeito

tifica os portadores supercondutores como pares de elétrons (chamados de pares de Cooper). Nesse caso, dois elétrons (com momento e spin contrários) formam um par ligado através de uma interação com a rede cristalina (fônon), com energia menor do que a que teriam se fossem independentes, dando lugar ao novo portador. A teoria BCS explicava os fenômenos observados até então e aparentemente respondia a todas

as questões relativas à supercondutividade. Entretanto, com a descoberta dos HTS, verificou-se que essa teoria não explicava a supercondutividade desses materiais. Até o presente momento, não foi



Superfície tridimensional definida pelas variáveis temperatura (T), campo magnético (H) e densidade de corrente (J). Os círculos vermelhos mostram os valores críticos (H_c , J_c e T_c) que definem a região dentro da qual o material permanece superconductor. Fora dessa superfície o material estará no seu estado normal.



Evolução do valor da temperatura crítica dos materiais supercondutores desde 1911; o gráfico mostra uma variação abrupta a partir dos materiais do tipo $La_{2-x}Ba_xCuO_4$ reportados por Bednorz e Müller em 1986.

formulada uma teoria microscópica que explique o seu funcionamento.

Formas básicas de estudo

O estudo dos materiais supercondutores é realizado basicamente através de técnicas de análise estrutural e técnicas de determinação das propriedades físicas. Dentro do primeiro grupo, as mais comuns são: difração de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microscopia de força atômica (AFM). Já no segundo grupo, são comumente utilizadas técnicas para análise das propriedades eletrônicas, elétricas, magnéticas, térmicas, elásticas etc. Assim, são utilizadas técnicas como espectroscopia Raman, transporte, magnetometria, ultra-som etc. Esses experimentos podem utilizar plataformas variadas, adicionando uma ou mais variáveis, como temperatura, campo magnético externo e radiação laser.

Uma poderosa técnica para o estudo de materiais supercondutores é a simulação computacional das suas propriedades, a partir da construção de modelos teóricos. Um exemplo de aplicação dessa técnica é o estudo da resposta de materiais supercondutores ao campo magnético aplicado, a qual permite obter importantes parâmetros, tais como o campo crítico e a densidade de corrente crítica. Em geral, todos os tratamentos teóricos desenvolvidos para esse tipo de problema consideram a amostra como tendo dimensões infinitas. Entretanto, quando consideramos amostras reais, ou seja, finitas, aparecem sérias complicações na interpretação dos resultados obtidos. Mesmo no caso de o campo magnético aplicado ser homogêneo e uniforme, a extração dos parâmetros típicos do material a partir dos resultados obtidos em amostras finitas não é simples.

Os denominados efeitos desmagnetizantes são diretamente responsáveis por essas dificuldades. Esses efeitos, que aparecem em amostras finitas, fazem com que o campo magnético dentro da amostra seja diferente do campo externo aplicado. Dependendo da geometria da amostra, a relação entre os campos (interno e externo à amostra) é, em geral, desconhecida. Dessa maneira, também serão

desconhecidos os valores corretos dos parâmetros determinados a partir da resposta magnética da amostra, como T_C , H_C e J_C . O valor dos mesmos é determinado de maneira exata quando a amostra tem geometria elipsoidal e o campo magnético externo é paralelo a um dos seus eixos. Este é um problema real de enorme importância e diferentes modelos têm sido propostos para sua solução. Diversos trabalhos teóricos têm permitido obter significativos avanços no tratamento dos dados experimentais obtidos a partir da resposta magnética de amostras supercondutoras de geometria não-elipsoidal, como cilindros, filmes finos etc.

Aplicações

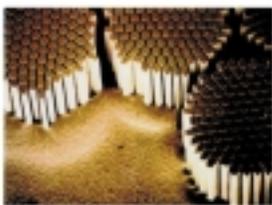
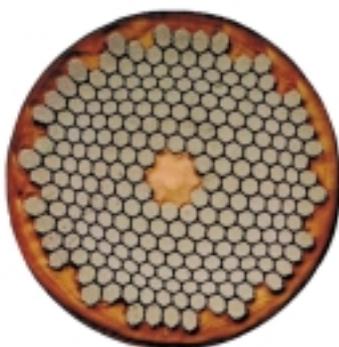
As aplicações tecnológicas dos materiais supercondutores estão relacionadas basicamente com as quatro vantagens que eles têm sobre os condutores normais:

- conduzem eletricidade sem perda de energia, permitindo assim criar mecanismos com rendimentos extraordinários;
- não dissipam calor, implicando na redução expressiva dos circuitos elétricos;
- têm grande capacidade de gerar campos magnéticos muito intensos;
- e podem ser usados para fabricar junções Josephson (que descrevemos a seguir), as quais são chaves supercondutoras, semelhantes a transistores, que podem comutar cem vezes mais rápido que os mesmos.

As aplicações mais fascinantes dos supercondutores podem ser agrupadas em dois tipos: pequena e grande escala. Muitas dessas aplicações estão relacionadas com equipamentos que utilizam altos valores de campo magnético. No primeiro grupo estão as aplicações em biomedicina, metrologia, geofísica, processamento digital e dispositivos (sensores e detectores). No segundo grupo, o de aplicações em grande escala, encontramos magnetos multifilamentares para diversas aplicações em física de altas energias, imagens por ressonância magnética (MRI), reatores de fusão nuclear, geradores de magnetohidrodinâmica (MHD), usinas de armazenamento de energia e magnetos para separação magnética. Há importantes aplicações sendo desenvolvidas em termos de máquinas, motores elétricos e cabos/linhas de transmissão. Entretanto, as aplicações da supercondutividade que mais estimulam a nossa imaginação com o seu fascínio são aquelas relacionadas com veículos que levitam, como por exemplo o trem chamado de MAGLEV (da sigla em inglês magnetic levitation).

O estudo dos materiais supercondutores é realizado basicamente através de técnicas de análise estrutural e de determinação das propriedades físicas

Biomedicina, geofísica, física de altas energias, imagens por ressonância magnética, reatores de fusão nuclear e usinas de armazenamento de energia são alguns dos campos onde podemos encontrar a aplicação de supercondutores



Seção transversal de fio multifilamentar utilizado em enrolamento de magnetos supercondutores para diversas aplicações de grande escala.

Aplicações em grande escala

Em termos de intensidade de campo magnético, hoje é possível fabricar magnetos enrolados com fio supercondutor que atingem campos de até 60 T (teslas) operando no modo contínuo, e de até 250 T no modo pulsado. Para termos uma idéia da magnitude relativa desses valores, é interessante lembrar que o campo magnético terrestre é da ordem de 5×10^{-5} T. A possibilidade de criar esses campos intensos permite as aplicações em grande escala mencionadas anteriormente.

Motores elétricos supercondutores eficientes poderiam ser usados em uma nova classe de transportes terrestres e marítimos, dando lugar a uma nova geração de trens, carros e navios. Um exemplo disto é o MAGLEV anteriormente mencionado. O mesmo consiste em um trem (ainda em fase de desenvolvimento de protótipos) que alcança velocidades da ordem de 600 km/h. Os trens MAGLEV são mais rápidos que os convencionais (como o TGV francês) porque flutuam cerca de dez centímetros acima dos trilhos, em um "colchão magnético". Eliminando as rodas convencionais e fazendo o trem flutuar, o atrito já não limita a velocidade. Nesse caso, apenas existiria o atrito com o ar, que é quase eliminado por meio da aerodinâmica do veículo.

No que diz respeito à geração de energia, o uso da supercondutividade pode significar uma enorme economia em comparação com os sistemas convencionais atualmente em uso. Usando supercondutores, é possível desenvolver um campo magnético muito mais forte do que aquele obtido por um gerador convencional, permitindo ao gerador supercondutor ser menor fisicamente para a mesma produção de energia. Outra vantagem é que a resistência elétrica associada ao fluxo de eletricidade nos enrolamentos do motor do gerador convencional não está presente nos supercondutores. Esse aumento na eficiência poderia, no final, reduzir expressivamente os custos, assim como diminuiria a poluição química e térmica.

Com relação ao armazenamento, não existe ainda nenhum método eficiente para grandes quantidades de eletricidade. Um sistema conhecido como SMES (da sigla em inglês superconducting magnetic energy storage), formado por grandes bobinas supercondutoras subterrâneas, seria capaz de armazenar grandes quantidades de eletricidade por longos períodos de tempo. O SMES seria conectado à rede de energia da comunidade. Durante o período de baixa demanda, a eletricidade em excesso seria

acumulada pelo SMES e, nos períodos de demanda intensa, a eletricidade seria devolvida pelo mesmo, sem nenhum tipo de perda decorrente do armazenamento. O SMES é baseado no fato de que uma corrente elétrica num supercondutor continua circulando indefinidamente (corrente chamada de persistente).

No campo da física de altas energias, magnetos supercondutores permitem gerar intensos campos magnéticos; por isso, são aplicados em grandes máquinas, chamadas de aceleradores, utilizadas no estudo das partículas elementares da física. Por exemplo, no acelerador Tevatron, que é um anel de aproximadamente 30 km de diâmetro, há cerca de mil magnetos supercondutores feitos de uma liga de nióbio-titânio e esfriados em hélio líquido.

Os impulsadores de massa, máquinas que funcionam de maneira análoga aos aceleradores de partículas mencionados anteriormente, seriam utilizados para acelerar objetos macroscópicos até altas velocidades, para então lançá-los com o objetivo de viajar longas distâncias (na Terra ou no Espaço).

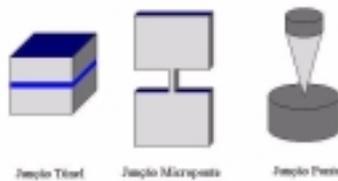
Os reatores para fusão nuclear são um mecanismo de obtenção de energia que, ao contrário da fissão nuclear, não tem associado qualquer tipo de resíduo radiativo. Assim, será uma das alternativas energéticas do futuro. Qualquer sistema comercial para obter energia por fusão nuclear (por exemplo, aquele conhecido como Tokamak) deverá utilizar eletroímãs supercondutores, porque a energia requerida ao utilizar eletroímãs convencionais seria uma fração significativa da energia produzida pelo dispositivo.

Aplicações em pequena escala

A maioria das aplicações dos materiais supercondutores em pequena escala está nas áreas da biomedicina, metrologia, geofísica, processamento digital e dispositivos. Entretanto, eles ainda não encontram aplicações significativas em dispositivos eletrônicos, sendo a principal causa disso a necessidade de operar em baixas temperaturas. Entretanto, já estão em desenvolvimento aplicações de materiais supercondutores em circuitos de altíssima integração, nos quais a redução das dimensões dos componentes limita a dissipação térmica dos mesmos, que funcionam refrigerados por nitrogênio líquido.

A supercondutividade propiciará, assim, um importante avanço tecnológico para a indústria eletrônica. Juntando-se ao transistor e aos circuitos integrados, a supercondutividade poderá afetar

Aplicações na transmissão de energia seriam extremamente importantes, já que os fios poderiam ser consideravelmente mais finos e não teriam nenhuma perda, mesmo transportando correntes muito intensas



Diferentes tipos de junções Josephson fabricadas a partir de processos litográficos: tunnel, microponte e ponto.

Junções Josephson: descrição e

As mais importantes aplicações dos materiais supercondutores em termos de dispositivos estão baseadas na estrutura denominada de junção Josephson.

Em física do estado sólido, é comum estudar dispositivos de enorme aplicação baseados em junções (materiais sanduichados) envolvendo materiais diferentes como: metais, isolantes e semicondutores. Um exemplo típico desse tipo de dispositivo, com enorme impacto pelas suas aplicações, é o transistor. Em todos os casos, o comportamento da corrente elétrica na junção em função da tensão aplicada é determinado pelas propriedades das partículas responsáveis pela corrente, ou seja, pelos seus portadores.

Nos materiais supercondutores, os portadores são, como mencionamos antes, os pares de Cooper. Assim, é de se esperar que as junções envolvendo esse tipo de material tenham propriedades diferentes daqueles dispositivos baseados em outras estruturas. Vejamos como elas funcionam.

Consideremos dois supercondutores, SL e SR, separados por uma distância macroscópica. Na medida em que ambos são colocados mais e mais próximos, e quando a separação entre eles é da ordem de 30 Å (trinta ângstroms, onde 1 Å = 10⁻¹⁰ m), observa-se a circulação de elétrons de um a outro supercondutor. Reduzindo ainda mais a separação entre SL e SR, para distâncias tipicamente menores do que 10 Å, também circularão entre eles pares de Cooper. Esse fenômeno de tunelamento (corrente através da junção) de pares de Cooper entre os dois materiais supercondutores através de uma fina barreira isolante é denominado tunelamento Josephson e o dispositivo formado pelos dois supercondutores separados pelo isolante é chamado junção Josephson (JJ). Em 1962, Brian D. Josephson previu esse efeito, pelo qual ganhou o Prêmio Nobel de Física em 1973. A principal característica dessas estruturas visando aplicações tecnológicas é o fato de que, quando uma voltagem constante V_{DC} é aplicada a uma JJ, aparece uma corrente que oscila a uma frequência ν da forma:

$$\nu = \frac{4\pi e}{\hbar} V_{DC} = 438 \cdot V_{DC} \left[\frac{\text{Ghz}}{\text{mV}} \right]$$

onde \hbar é a constante de Planck dividida por 2 π e "e" é a carga do elétron. Ou seja, por cada milivolt (mV) aplicado sobre a junção, obtém-se um sinal de frequência igual a 483 gigahertz (1GHz = 10¹² Hz).

Existem diferentes maneiras de produzir uma junção Josephson. Aquela JJ descrita anteriormente, sanduichando uma fina película isolante entre dois supercondutores, é denominada de junção tunnel. A barreira pode ser feita a partir da oxidação do filme da base ou pela deposição de camadas adicionais de um metal oxidado, de um semicondutor ou de um metal normal. Quando utilizado material isolante, a espessura da barreira é de alguns nanômetros (1nm = 10⁻⁹ m). Para uma barreira feita de material semicondutor ou normal, ela é de espessura de dez a cem vezes maior. Outros exemplos de junção Josephson são as estruturas conhecidas como junção microponte e junção ponto.

Uma das mais importantes aplicações da junção Josephson é no dispositivo denominado S.Q.U.I.D (da sigla em inglês para *superconducting quantum interference device*). Ele é formado por duas junções Josephson conectadas em paralelo,

aplicações

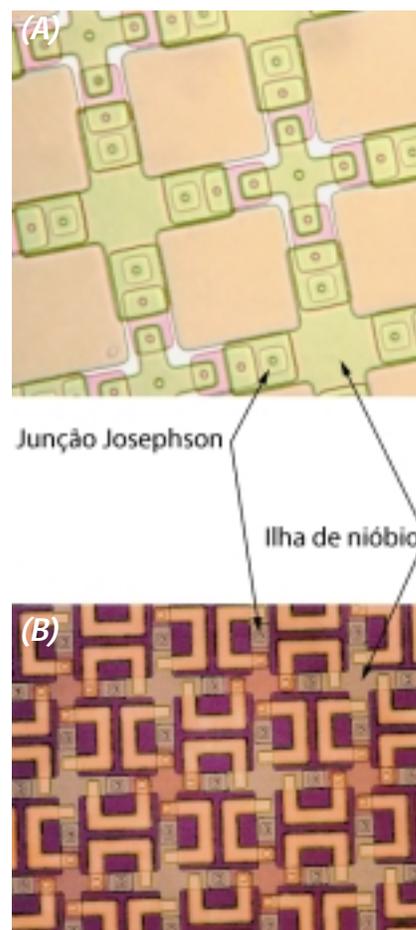
geralmente associadas a um transformador de fluxo magnético. A corrente que entra no dispositivo é dividida em duas componentes que atravessam as duas JJ na forma de correntes de pares de Cooper. Quando o S.Q.U.I.D é submetido a um campo magnético, cada corrente varia periodicamente, passando por máximos consecutivos à medida que o fluxo magnético passa por múltiplos do quantum fundamental, Φ_0 (que vale $2,07 \times 10^{-15}$ Wb). Dessa maneira, por meio de um circuito contador, pode-se determinar o número de máximos que a corrente atravessa e conhecer assim o fluxo magnético final. Portanto, esse tipo de dispositivo permite medir campos magnéticos minúsculos com enorme sensibilidade e precisão e, por isso, é utilizado em equipamentos científicos (magnetômetros), médicos (magnetoencefalógrafo, magnetocardiógrafo etc.) e industriais.

Quando as junções Josephson são fabricadas formando um arranjo bi ou tridimensional, o conjunto forma o que é denominado de rede de junções Josephson (ou JJA, da sigla em inglês *Josephson junction array*). Atualmente, as redes com maior número de aplicações tecnológicas são fabricadas com supercondutores convencionais (LTS), por exemplo, a partir de nióbio e óxidos como o AlO_x .

Uma das aplicações mais fascinantes das JJA foi descoberta em 1998 por P. Barbara e colaboradores (College Park, Maryland/EUA). Seus experimentos indicaram que JJA podem emitir radiação de maneira coerente, da mesma maneira que o faz uma fonte de radiação laser. A radiação emitida tem comprimento de onda na faixa dos milímetros. Esse fantástico resultado confirma a predição teórica desse fenômeno realizada em 1970, mostrando mais uma vez o enorme potencial tecnológico desses dispositivos supercondutores.

Redes de junções Josephson têm sido extensivamente utilizadas em física básica no estudo de transições de fase em sistemas bidimensionais. Dentre estes, um dos mais estudados tem sido o sistema dos materiais supercondutores granulares. Os materiais HTS são granulares por natureza e podem ser visualizados como uma coleção de grãos supercondutores distribuídos numa matriz normal ou fracamente supercondutora. Por essa razão, o termo granularidade está intimamente relacionado aos HTS. Através dele se justifica que as propriedades magnéticas e de transporte desses materiais se manifestem usualmente através de uma resposta que tem duas ou mais componentes. No caso de duas componentes, a primeira delas (em temperatura mais alta) representa a contribuição. A outra componente (em baixas temperaturas) se origina no material intergranular. Neste caso, as propriedades intragranulares serão intrínsecas ao material, enquanto as intergranulares serão extrínsecas e gerarão efeitos dependentes das condições de preparação do material. Dessa maneira, as junções de uma JJA serão equivalentes ao material intergranular e as ilhas de nióbio serão equivalentes ao material intragranular dos HTS.

O estudo das propriedades magnéticas das JJA permite entender propriedades ainda controversas de sistemas supercondutores granulares, tanto LTS quanto HTS. Entre elas, podemos citar o efeito Meissner paramagnético, o modelo de estado crítico, e a avalanche de vórtices. Na figura ao lado, mostramos a fotografia de uma região de uma rede formada por 100 x 150 junções, para um JJA do tipo *unshunted* e para um do tipo *shunted*, respectivamente.



Fotografia de regiões de redes JJA do tipo (a) unshunted e (b) shunted. As junções de uma JJA são equivalentes ao material intergranular e as ilhas de nióbio são equivalentes ao material intragranular dos HTS.

drasticamente o campo da eletrônica. Por outro lado, os supercondutores podem mostrar-se como materiais ideais para interconexões. O fato dos supercondutores conduzirem eletricidade sem resistência elétrica reduziria grandemente a dissipação de calor dos circuitos integrados e transistores. Também, os supercondutores poderiam acrescentar alguns outros benefícios, tais como a eliminação de interferência magnética em circuitos integrados, por causa de sua capacidade de expelir campos magnéticos. O uso de interconexões supercondutoras permitiria que os componentes fossem compactados em um grau maior, possibilitando, assim, um maior número de componentes em um único circuito integrado, diminuindo grandemente os tempos de operação. Outra importante aplicação em eletrônica é no dispositivo chamado de PSP-1000. O mesmo é uma estação de trabalho processadora de sinais - um osciloscópio avançado, que pode operar na faixa de pico segundos (10^{-12} segundos), além de poder receber sinais elétricos em uma faixa cinco vezes maior que qualquer dispositivo similar.

Conclusão

A supercondutividade tem permitido conhecer novos mecanismos básicos da natureza, assim como utilizar suas propriedades para importantes aplicações em equipamentos científicos e tecnológicos nas mais diversas áreas. Entretanto, há ainda muito para ser descoberto e aperfeiçoado, principalmente em relação à obtenção de novos materiais com melhores parâmetros críticos. Valores maiores da temperatura de transição ou do campo magnético crítico permitirão desenvolver novas aplicações, tanto em grandes máquinas como em motores e componentes eletrônicos. A obtenção de materiais supercondutores com temperaturas de transição próximas da temperatura ambiente terá um impacto gigantesco na nossa civilização.

Essa possibilidade permitirá tornar realidade aplicações fantásticas do fenômeno da supercondutividade. Por exemplo, tornariam-se economicamente

viáveis os veículos MAGLEV. Também, aplicações na transmissão de energia seriam extremamente importantes, já que os fios poderiam ser consideravelmente mais finos e não teriam nenhuma perda, mesmo que transportando correntes muito intensas. Também não seria necessária a elevação excessiva da voltagem, que também é uma das causas de perdas consideráveis de energia causadas pela fuga de cargas para o ar (o chiado que pode ser ouvido nos dias úmidos perto das linhas de transmissão de alta tensão é um indicativo dessas perdas de energia). Assim, em qualquer tipo de equipamento elétrico (máquinas industriais, por exemplo), a resistência responsável pelas perdas poderia ser eliminada completamente. Em eletrônica, quando for possível obter dispositivos supercondutores operando na temperatura ambiente, uma nova revolução tecnológica deverá ocorrer. Equipamentos com velocidades e capacidades até então inimagináveis passarão a ser construídos e estarão ao nosso alcance. Tudo indica que, em um futuro não muito longe, a física e as ciências dos materiais obterão importantes resultados nesse sentido.

F. M. Araújo-Moreira, A. J. C. Lanfredi, C. A. Cardoso, W. Maluf

*Grupo de Materiais e Sensores, Departamento de Física, Centro Multidisciplinar de Desenvolvimento de Materiais Cerâmicos - CMDMC
Universidade Federal de São Carlos
C.P. 676 – 13565-905
São Carlos, SP, Brasil
E-mail: faraujo@df.ufscar.br
Fax: (16) 261-4835*

A. Mombrú

Laboratorio de Cristalografía y Química del Estado Sólido, Cátedra de Física-DEQUIFIM, Facultad de Química, Universidad de la República, Montevidéo, Uruguai

C. Navau

Universidad Autónoma de Barcelona e Escola Universitària Salesiana de Sarrià, Barcelona, Espanha