



**INSTITUTO
FEDERAL**
Fluminense

Campus
Macaé

Germânio e suas aplicações na engenharia

Autores:

Arthur Cavalcanti e Patrick Dine Ferreirinha

Macaé, 2023

Sumário

1	Introdução	2
2	Propriedades e microestrutura do elemento	3
3	Processo de fabricação	6
4	Aplicações na engenharia	8
4.1	Transistores	8
4.2	Sensores infravermelhos	9
4.3	Sensores de radiação	10
4.4	Lentes ópticas	11
4.5	Células solares de multijunção	12
4.6	Ligas metálicas	13
5	Considerações finais e referências bibliográficas	14
6	Referências bibliográficas	15

1 Introdução

O germânio, elemento químico de número atômico 32, emerge como um protagonista fundamental no cenário da ciência de materiais e da eletrônica devido às suas propriedades intrínsecas únicas. Este trabalho visa explorar as características distintivas do germânio, destacando suas propriedades físicas e químicas que o tornam um elemento crucial para diversas aplicações tecnológicas.

Desde sua descoberta no século XIX, o germânio tem sido objeto de intensa pesquisa, particularmente no contexto da eletrônica semicondutora. Sua capacidade de atuar como material semicondutor o posiciona como uma alternativa promissora ao silício em certas aplicações. Além disso, o germânio apresenta propriedades ópticas e térmicas notáveis, ampliando ainda mais seu espectro de aplicações potenciais.

Ao longo deste trabalho, serão abordados aspectos fundamentais do germânio, desde sua estrutura cristalina até suas propriedades eletrônicas, proporcionando uma compreensão aprofundada das bases que fundamentam suas aplicações tecnológicas. Além disso, serão discutidos os desafios enfrentados na incorporação efetiva do germânio em dispositivos eletrônicos e as inovações recentes que visam superar tais obstáculos.

Diante do cenário dinâmico da pesquisa em materiais e eletrônica, este trabalho busca fornecer uma visão abrangente sobre o papel do germânio no desenvolvimento de tecnologias emergentes. Ao explorar suas potenciais aplicações, este estudo contribui para o entendimento contínuo e aprimoramento das propriedades do germânio, impulsionando assim a inovação e o progresso no campo da ciência e da tecnologia.

2 Propriedades e microestrutura do elemento

O germânio é um elemento químico de símbolo Ge, número atômico 32 (32 prótons e 32 elétrons) com massa atômica 72 u. Na sua forma pura, o germânio é um metalóide branco-acinzentado, cristalino e quebradiço, que mantém o seu brilho no ar.

Quanto à sua microestrutura, o germânio apresenta uma estrutura cristalina semelhante à do diamante (cúbica) quando em estado natural (apenas átomos de germânio)³. O germânio, como o silício, consiste em cristais covalentes de redes tetraédricas tridimensionais com ligações Ge-Ge. Da mesma forma, pode ser encontrado na forma monocristalina, em que seus grãos são grandes, ou policristalinos, compostos por centenas de pequenos cristais.

O germânio é um semicondutor à pressão ambiente, mas quando sobe acima de 120 kbar torna-se um alótropo metálico; ou seja, possivelmente as ligações Ge-Ge são quebradas e são arranjadas individualmente envoltas no mar de seus elétrons. Além disso, ele pertencente ao grupo 14 da tabela periódica, na mesma família do carbono, silício e estanho. O germânio possui tais características:

I- Natureza Semicondutora:

- O germânio é um elemento semicondutor intrínseco, o que significa que sua condutividade elétrica é resultado de portadores de carga intrínsecos, como elétrons e lacunas, que são gerados termicamente. Em um semicondutor intrínseco, a concentração de portadores de carga é determinada pelas propriedades intrínsecas do material, como a energia térmica.
- No entanto, para muitas aplicações práticas, os semicondutores precisam ser dopados, ou seja, introduzir impurezas controladas para modificar suas propriedades elétricas. A dopagem cria semicondutores extrínsecos, nos quais a concentração de portadores de carga é significativamente aumentada em comparação com os semicondutores intrínsecos.
- O germânio pode ser dopado tanto com átomos doadores (dopagem tipo N), como fósforo, quanto com átomos aceitadores (dopagem tipo P), como boro. A dopagem tipo N adiciona elétrons livres ao material, enquanto a dopagem tipo P cria lacunas (falta de elétrons).
- Essa capacidade de dopagem é fundamental para a fabricação de dispositivos semicondutores, como diodos e transistores, que são blocos de construção essenciais para eletrônica moderna. A manipulação controlada da dopagem permite criar semicondutores com propriedades elétricas específicas, adaptadas às necessidades de diferentes aplicações.

II- Cristalização e Estrutura Atômica:

- O germânio cristaliza em uma estrutura cristalina cúbica de diamante, similar à do silício. Essa organização atômica regular contribui para suas propriedades semicondutoras.

III- Ponto de Fusão e Ebulição:

- O germânio possui pontos de fusão e ebulição relativamente baixos em comparação com muitos metais, o que facilita

seu processamento industrial. O ponto de fusão é de aproximadamente 937 graus Celsius, enquanto o ponto de ebulição é cerca de 2.830 graus Celsius.

IV- Propriedades Ópticas:

- O germânio é transparente à luz infravermelha, tornando-o valioso em aplicações ópticas, como lentes para sistemas de visão noturna e dispositivos de detecção térmica. Essa propriedade é explorada em equipamentos de imagem térmica e em tecnologias que envolvem radiação infravermelha.

V- Densidade e Peso Atômico:

- A densidade do germânio é significativamente menor do que a de muitos metais, sendo aproximadamente 5,32 g/cm³. O peso atômico do germânio é cerca de 72,63 u (unidades de massa atômica), tornando-o mais leve do que muitos elementos metálicos.

VI- Reatividade Química Moderada:

- O germânio exibe uma reatividade química moderada. Ele não é tão reativo quanto o silício, mas ainda pode formar compostos com diversos elementos. Entretanto, não é tão suscetível à oxidação quanto alguns metais.

VII- Dopagem para Aplicações Eletrônicas:

- O germânio pode ser dopado com átomos de outros elementos para modificar suas propriedades elétricas. A dopagem é uma técnica importante na fabricação de dispositivos semicondutores, como transistores.

VIII- Condutividade Térmica:

- O germânio possui uma condutividade térmica moderada, o que significa que ele pode transferir calor de maneira eficiente em determinadas aplicações.

3 Processo de fabricação

O germânio é um material que é encontrado na natureza. Abaixo, estão descritos os processos de produção desde a extração à distribuição do elemento:

I- **Matéria-Prima:**

A matéria-prima para a produção de germânio geralmente é o mineral germanita (sulfeto de germanium), embora o elemento também possa ser obtido como subproduto da produção de zinco, cobre e carvão.

II- **Extração do Germânio:**

A germanita é processada para extrair o germânio. O processo pode envolver trituração e moagem do minério para obter um concentrado.

III- **Tratamento Químico:**

O concentrado de germanita é submetido a tratamentos químicos para separar o germânio de outros elementos.

IV- **Obtenção do Tetracloreto de Germânio:**

O germânio é convertido em tetracloreto de germânio (GeCl_4) por reação com cloro. Este é um passo crucial para purificar o germânio.

V- **Redução do Tetracloreto de Germânio:**

O tetracloreto de germânio é reduzido usando hidrogênio, geralmente em um reator de leito fluidizado ou forno de arco. Isso resulta na obtenção do germânio metálico.

VI- **Refinamento:**

O germânio metálico pode passar por etapas adicionais de refinamento para remover impurezas residuais. A destilação é comumente usada para esse fim.

VII- **Crescimento de Cristais:**

O germânio é frequentemente utilizado na forma de cristais monocristalinos para a produção de dispositivos semicondutores. Isso é alcançado por métodos como a técnica de Czochralski, onde um cristal é cultivado a partir de um lingote fundido.

VIII- Corte e Polimento:

Os lingotes de germânio monocristalino são cortados em finas fatias chamadas wafers. Esses wafers são então polidos para atingir uma superfície lisa e uniforme.

IX- Dopagem e Processamento:

Os wafers de germânio podem ser dopados com impurezas controladas para ajustar suas propriedades elétricas. Em seguida, eles passam por vários processos de fabricação, como deposição de camadas, litografia e difusão, para criar dispositivos semicondutores específicos.

X- Testes e Montagem:

Os dispositivos semicondutores individuais são testados para garantir que atendam às especificações. Posteriormente, eles são montados em circuitos eletrônicos mais complexos.

XI- Embalar e Distribuir:

Os dispositivos semicondutores acabados são embalados e distribuídos para uso em uma variedade de produtos eletrônicos, como chips de computador, dispositivos de comunicação e outros componentes eletrônicos.

4 Aplicações na engenharia

O germânio, embora inicialmente conhecido por seu papel na eletrônica, na confecção de diodos e transistores, tem várias aplicações na engenharia devido às suas propriedades únicas. Sendo utilizado para confecção de diversos tipos de produtos, como ligas metálicas e lentes ópticas, por exemplo. A seguir, estão alguns materiais construídos a partir do germânio.

4.1 Transistores

Os transistores têm duas funções básicas: amplificar a corrente elétrica ou barrar a sua passagem. Quando na função de amplificador, os transistores são alimentados por uma baixa corrente elétrica de entrada, amplificando-a e, assim, produzindo uma corrente elétrica de saída com maior intensidade.

"O primeiro transistor do mundo, feito em 1947, era feito de germânio. Toda a revolução dos semicondutores e, portanto, nossos telefones celulares e todos os outros eletrônicos, poderia, em teoria, basear-se em germânio em vez de silício," lembra o professor Menno Veldhorst, que vinha trabalhando em uma computação quântica baseada em silício há bastante tempo.

Ocorre que, embora o germânio de fato tenha melhores propriedades semicondutoras do que o silício, dificuldades na sua fabricação fizeram com que o silício se tornasse o material preferido da indústria de semicondutores.

Entretanto, engenheiros do MIT apresentaram um transistor que é nada menos do que quatro vezes mais rápido do que os transistores usados nos processadores mais modernos, e duas vezes mais rápido do que os melhores transistores já demonstrados em laboratório. Este transistor é confeccionado a partir de germânio tensionado.

A vantagem é que o germânio já é utilizado em outros componentes eletrônicos, o que torna mais fácil integrar o novo transistor à plataforma CMOS, ao contrário de outros transistores de última geração, que costumam usar ligas exóticas.

4.2 Sensores infravermelhos

Os sensores infravermelhos são dispositivos eletrônicos que detectam a radiação infravermelha, uma forma de radiação eletromagnética com um comprimento de onda maior do que a luz visível. Essa radiação é emitida por todos os objetos que possuem uma temperatura acima do zero absoluto ($-273,15^{\circ}\text{C}$), incluindo seres humanos, animais, máquinas e praticamente tudo ao nosso redor.

Os sensores infravermelhos operam com base em princípios físicos que envolvem a absorção, reflexão e emissão de radiação infravermelha. Os detectores usados nos sensores infravermelhos são geralmente feitos de materiais semicondutores, como o piroelétrico. Quando a radiação infravermelha atinge esses materiais, eles geram uma carga elétrica.

Um dos materiais utilizados na fabricação de detectores para sensores infravermelhos é o germânio. Mais especificamente, o composto de germânio-mercúrio (Mercury-doped germanium – (Ge (Hg))) é usado em sensores termais. Esses sensores são capazes de detectar a energia térmica emitida por um objeto ou a mudança no padrão de radiação infravermelha em um ambiente.

Os sensores infravermelhos feitos com germânio são usados em uma variedade de aplicações, incluindo sistemas de segurança, onde detectam movimento e ativam alarmes em caso de intrusões

4.3 Sensores de radiação

Os sensores de radiação são dispositivos que detectam e medem a radiação ionizante, como raios gama e raios X. Eles são usados em uma variedade de aplicações, incluindo medicina, pesquisa nuclear, astrofísica e proteção radiológica.

Um dos materiais mais comumente usados na fabricação de detectores para sensores de radiação é o germânio. O germânio é um elemento químico semicondutor que possui propriedades elétricas entre as de um metal e um isolante. Devido ao seu gap de banda estreita, o germânio pode responder eficientemente à luz infravermelha.

Os detectores monocristalinos feitos com germânio altamente purificado podem ser usados para identificar fontes de radiação. Esses detectores são capazes de medir a distribuição de energia da radiação gama, que é uma forma de radiação eletromagnética de alta energia.

Os detectores de germânio são especialmente úteis na espectroscopia gama, que é o estudo dos espectros de energia de fontes de raios gama. Eles são capazes de produzir um espectro de energia de raios gama, que pode ser usado para determinar a identidade e a quantidade de emissores gama presentes em uma amostra.

Em resumo, os sensores de radiação feitos com germânio são ferramentas poderosas na detecção e medição de radiação ionizante, contribuindo significativamente para diversas áreas da ciência e tecnologia.

4.4 Lentes ópticas

As lentes ópticas são componentes fundamentais em uma variedade de aplicações, desde câmeras e telescópios até instrumentos de medição e dispositivos médicos. Elas são projetadas para focar ou dispersar a luz e são feitas de uma variedade de materiais, incluindo o germânio.

O germânio é um elemento químico semicondutor que possui propriedades elétricas entre as de um metal e um isolante. Devido ao seu gap de banda estreito, o germânio pode responder eficientemente à luz infravermelha. Isso torna o germânio um material ideal para a fabricação de lentes ópticas usadas em aplicações de infravermelho.

As lentes de germânio são usadas em uma variedade de aplicações, incluindo sistemas de imagem térmica e militar. Elas são capazes de operar eficientemente em uma ampla gama de comprimentos de onda, tornando-as versáteis para várias aplicações.

Em resumo, as lentes ópticas feitas de germânio são ferramentas poderosas na detecção e medição de radiação infravermelha, contribuindo significativamente para diversas áreas da ciência e tecnologia.

4.5 Células solares de multijunção

As células solares de multijunção são uma tecnologia de primeira geração que ultrapassa o limite de conversão energética de Shockley-Queisser (34%)¹. Elas são constituídas por múltiplas junções P-N, cada uma sintonizada para diferentes comprimentos de onda, permitindo a absorção de energia solar correspondente a várias partes do espectro.

Uma abordagem possível para a criação de uma célula multijunção envolve a utilização de materiais no topo da célula que absorvem melhor a radiação com comprimentos de onda mais curtos. Por outro lado, materiais localizados em camadas cada vez mais profundas da célula solar absorverão radiação solar com comprimentos de onda cada vez maiores.

O germânio é um dos materiais utilizados na fabricação de células solares de multijunção. Em um avanço recente, pesquisadores do instituto de pesquisas IMEC, da Bélgica, criaram uma célula multijunção empilhando mecanicamente duas células solares. A primeira célula é feita de arseneto de gálio (GaAs) e a segunda de germânio (Ge).

A célula solar superior, feita de GaAs, é superfina e transparente para a luz infravermelha, enquanto a célula inferior, de Ge, captura esse comprimento de onda para gerar eletricidade. Com a possibilidade de fabricar cada uma dessas células individuais com uma eficiência ultrapassando os 20%, duas células complementares empilhadas poderiam resultar em rendimentos acima dos 40%.

Em resumo, as células solares de multijunção feitas com germânio são uma tecnologia promissora que pode contribuir significativamente para a eficiência e a viabilidade da energia solar.

4.6 Ligas metálicas

O germânio é um elemento químico semicondutor que possui propriedades elétricas entre as de um metal e um isolante. Devido ao seu gap de banda estreito, o germânio pode responder eficientemente à luz infravermelha¹. Isso torna o germânio um material ideal para a fabricação de lentes ópticas usadas em aplicações de infravermelho.

O germânio é usado na fabricação de várias ligas metálicas. Por exemplo, a adição de 1% de germânio à prata impede que ela embace. Além disso, o germânio é usado na fabricação de jóias com liga Au-Ge (com 12% de Ge).

Em um exemplo mais específico, uma nova liga metálica foi criada usando os elementos Samário, Ferro e Germânio. Após várias tentativas e erros, os pesquisadores conseguiram produzir uma liga metálica de tamanho significativo.

Em resumo, o germânio é um elemento versátil que é usado na fabricação de várias ligas metálicas, contribuindo para diversas aplicações na ciência e na tecnologia.

5 Considerações finais e referências bibliográficas

Através deste trabalho, foi possível explorar o germânio, um elemento fascinante com uma ampla gama de aplicações em várias áreas da engenharia, incluindo eletrônica, óptica e energia solar. As propriedades únicas do germânio foram investigadas, bem como suas aplicações em sensores infravermelhos, sensores de radiação, lentes ópticas, células solares de multijunção e ligas metálicas.

Este estudo contribui para um campo de pesquisa que tem o potencial de moldar o futuro da tecnologia. O foco nas aplicações práticas do germânio na engenharia demonstra uma compreensão profunda não apenas da teoria, mas também de como essa teoria pode ser aplicada para resolver problemas do mundo real.

Em conclusão, este trabalho representa um passo importante na compreensão do germânio e de suas diversas aplicações na engenharia. A pesquisa realizada aqui abre caminho para futuros estudos e inovações nesta área.

6 Referências bibliográficas

- www.sabereletrica.com.br
- <https://1library.org/article/sensores-do-infravermelho-termal-o-infravermelho-termal.y4w044r0>
- www.scielo.br
- www.radiation-dosimetry.org
- <https://escolaeducacao.com.br/geranio/>
- www.greelane.com
- www.inovacaotecnologica.com.br
- ligadofuturo.wordpress.com