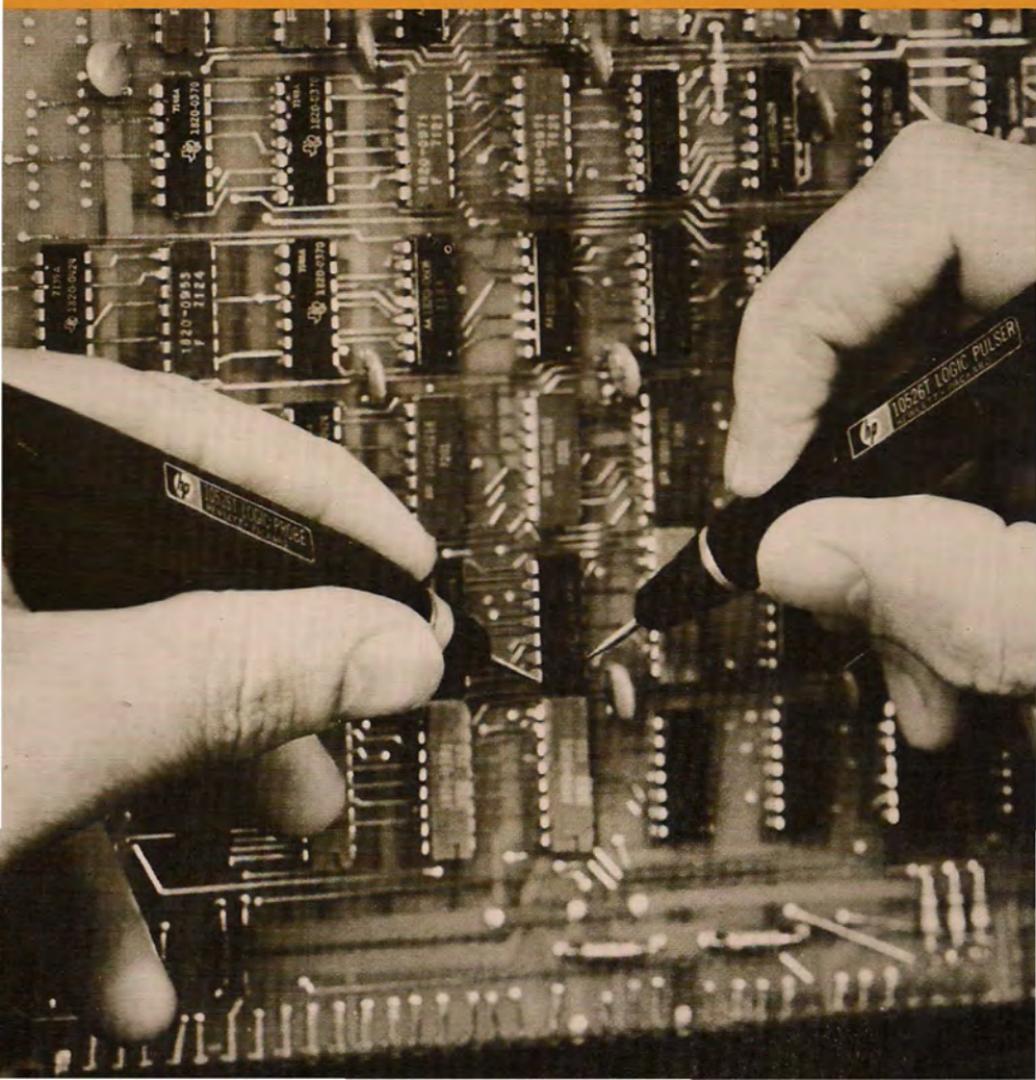


# CIRCUITOS INTEGRADOS

HILTON A. MELLO

Livro-texto para as escolas técnicas de eletrônica



# CIRCUITOS INTEGRADOS

CAPA: Ilustração do uso de equipamentos especiais  
para a manutenção de equipamentos eletrônicos integrados.  
Cortesia da Hewlett – Packard Company.

### FICHA CATALOGRÁFICA

(Preparada pelo Centro de Catalogação-na-fonte,  
Câmara Brasileira do Livro, SP)

M485c      Melo, Hilton Andrade de.  
            Circuitos integrados [por] Hilton Andrade de Mello.  
            São Paulo, Edgard Blücher, 1976.  
            p. ilustr.

Bibliografia.

1. Circuitos integrados

76-0235

CDD-621.38173

Índice para catálogo sistemático:

1. Circuitos integrados : Microeletrônica 621.38173

HILTON ANDRADE DE MELLO

*Engenheiro Eletrônico e Nuclear; graduado pela  
Universidade de Stanford, Califórnia, EUA; Chefe  
do Laboratório de Instrumentação e Controle  
do Instituto de Engenharia Nuclear.*

## CIRCUITOS INTEGRADOS



EDITORA EDGARD BLÜCHER LTDA.

© 1976 *Editora Edgard Blücher Ltda.*

2.ª Reimpressão 1981

*É proibido reprodução total ou parcial  
por quaisquer meios  
sem autorização escrita da editora*

EDITORA EDGARD BLÜCHER LTDA.

0 1000 CAIXA POSTAL 5450

END. TELEGRÁFICO: BLUCHERLIVRO

SÃO PAULO — SP — BRASIL

Impresso no Brasil *Printed in Brazil*

A

Maria de Paula, Adriane e Mônica,  
pela paciência e compreensão  
que tornaram possível esta obra.

H. A. M.

# CONTEÚDO

Capítulo 1. NOÇÕES BÁSICAS SOBRE A FABRICAÇÃO DE CIRCUITOS INTEGRADOS .....	1
1.1. Divisões da microeletrônica .....	1
1.2. Detalhes técnicos fundamentais .....	3
1.2.1. Obtenção das pastilhas de silício .....	3
1.2.2. Formação da camada epitaxial .....	4
1.2.3. Processo de difusão selecionada .....	5
1.2.4. Processo de abertura de janelas no óxido de silício .....	5
1.3. Fabricação de circuitos integrados monolíticos .....	8
1.3.1. Formação de ilhas tipo <i>N</i> .....	8
1.3.2. Fabricação de transistores .....	9
1.3.3. Fabricação de resistores .....	12
1.3.3.1. Resistores difundidos .....	12
1.3.3.2. Resistores depositados .....	13
1.3.4. Fabricação de capacitores .....	13
1.3.4.1. Capacitores de junção .....	13
1.3.4.2. Capacitores depositados .....	14
1.3.5. Fabricação de indutâncias .....	15
1.3.6. Fabricação de diodos .....	15
1.3.7. Fabricação simultânea de todos os componentes de um circuito .....	15
1.3.8. Considerações sobre a produção em massa de circuitos integrados .....	17
1.3.9. Encapsulação e testes finais .....	18
1.4. Técnicas recentemente desenvolvidas .....	19
1.4.1. Circuitos integrados MOS .....	19
1.4.2. Circuitos integrados COS/MOS .....	20
1.4.3. Circuitos integrados SOS .....	20
1.4.4. Integração de sistemas e subsistemas (MSI, LSI, VLSI) .....	21
Capítulo 2. INVÓLUCROS DE CIRCUITOS INTEGRADOS .....	22
2.1. Generalidades .....	22
2.2. Invólucro tipo TO .....	23
2.3. Invólucro tipo plano ( <i>flat-pack</i> ) .....	23
2.4. Invólucro tipo dual-em-linha ( <i>dual-in-line</i> ) .....	23
2.5. Dimensões dos invólucros e identificação dos terminais .....	24
2.6. Escolha do tipo de invólucro para uma dada aplicação .....	25
Capítulo 3. TIPOS DE CIRCUITOS INTEGRADOS DISPONÍVEIS .....	28
3.1. Circuitos integrados digitais .....	28
3.1.1. Generalidades .....	28
3.1.2. Noções sobre circuitos digitais .....	29

3.1.3. Famílias de circuitos integrados digitais .....	31
3.1.3.1. Famílias de circuitos saturados .....	31
3.1.3.2. Famílias de circuitos não-saturados .....	34
3.1.4. Circuitos digitais MOS, COS/MOS e SOS .....	34
3.2. Circuitos integrados lineares .....	35
Capítulo 4. PROJETO DE CIRCUITOS UTILIZANDO CIRCUITOS INTE- GRADOS .....	36
4.1. Polarização de circuitos integrados .....	36
4.2. Aplicação de circuitos integrados em projetos de circuitos lineares .....	40
4.2.1. Amplificadores operacionais (uso geral) .....	40
4.2.1.1. Generalidades .....	40
4.2.1.2. Características básicas de um amplificador operacional .....	40
4.2.1.3. Funcionamento básico de um amplificador operacional .....	41
4.2.1.4. Resposta de frequência de um amplificador operacional .....	45
4.2.1.5. Estabilidade de um amplificador operacional .....	47
4.2.1.6. Definições complementares usando um exemplo específico de um amplificador operacional .....	51
4.2.1.7. Estudo detalhado do funcionamento CC de um amplificador ope- racional .....	54
4.2.1.8. Exemplo de um projeto simples usando um amplificador ope- racional .....	58
4.2.2. Amplificadores de áudio .....	61
4.2.2.1. Generalidades .....	61
4.2.2.2. Especificações do amplificador constituído pelo <i>kit</i> M-101 ....	62
4.2.2.3. Diagrama do circuito do amplificador .....	62
4.2.2.4. Discussões importantes relacionadas ao <i>kit</i> M-101 .....	63
4.2.2.5. Experiência adicional sugerida com o TAA 300 .....	64
4.2.3. Amplificadores de alta-frequência .....	66
4.2.3.1. Dados gerais sobre um amplificador de RF/IF MC 1550 .....	67
4.2.3.2. Exemplo de aplicações do amplificador RF/IF MC 1550 .....	68
A. Amplificadores sintonizados usando o MC 1550 .....	68
B. Amplificador de vídeo usando o MC 1550 .....	72
4.2.4. Amplificadores lineares complexos para aplicações especiais .....	72
4.2.5. Osciladores .....	74
4.2.5.1. Generalidades sobre osciladores .....	74
4.2.5.2. Exemplos de osciladores usando circuitos integrados .....	75
A. Oscilador usando o amplificador RF/IF MC 1550 .....	75
B. Oscilador usando amplificadores operacionais .....	78
4.2.6. Fontes reguladas de alimentação .....	78
4.2.6.1. Generalidades .....	78
4.2.6.2. Exemplo específico de um regulador de tensão integrado .....	79
4.2.6.3. Exemplos de fontes reguladas usando o TBA 281 .....	89
4.2.6.4. Projeto de fontes reguladas usando amplificadores operacionais	89
4.3. Aplicação de circuitos integrados no projeto de circuitos digitais .....	92
4.3.1. Uso de circuitos digitais básicos isolados .....	93
4.3.1.1. <i>Gates</i> em geral* .....	93
4.3.1.2. <i>Flip-flops</i> .....	97
4.3.2. Uso de circuitos digitais básicos associados .....	99
4.3.2.1. Exemplo de projeto de um circuito digital combinacional ....	100
4.3.2.2. Projeto de um registro de deslocamento ( <i>shift-register</i> ) .....	108
4.3.3. Uso de circuitos integrados digitais complexos (MSI, LSI, VLSI) .....	110

\*Muitos autores utilizam a expressão "circuitos-porta"

Capítulo 5. PROBLEMAS PRÁTICOS ENCONTRADOS NO USO DE CIRCUITOS INTEGRADOS .....	111
5.1. Uso de circuitos impressos .....	111
5.2. Uso de soquetes para circuitos integrados .....	111
5.3. Técnicas de inserção e retirada de circuitos integrados em soquetes e placas impressas .....	113
5.3.1. Uso de ferramentas especiais .....	113
5.3.2. Corte inclinado dos terminais de um circuito integrado .....	113
5.4. Soldagem de circuitos integrados .....	114
5.5. Considerações térmicas sobre circuitos integrados .....	116
5.6. Uso de placas padronizadas para a montagem de circuitos experimentais .....	119
Capítulo 6. MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS INTEGRADOS .....	121
6.1. Comentários gerais .....	121
6.2. Diferenças fundamentais entre equipamentos integrados e com componentes discretos .....	121
6.3. Diferenças essenciais entre a manutenção de equipamentos analógicos e equipamentos digitais .....	122
6.4. Técnicas modernas para a manutenção de equipamentos digitais .....	124
6.4.1. Pulsador lógico HP 10 526T .....	125
6.4.2. Ponta de prova lógica HP 10 525T .....	125
6.4.3. Garra lógica HP 10 528A .....	126
6.4.4. Comparador lógico HP 10 529A .....	126
6.5. Produtos químicos utilizados na manutenção .....	127
6.6. Calibração e aferição de equipamentos eletrônicos .....	130
Apêndice A. NOÇÕES SOBRE ÁLGEBRA DE BOOLE .....	133
A1. Sinais binários .....	133
A2. Postulados da álgebra de Boole .....	134
A3. Teoremas da álgebra de Boole .....	137
A3.1. Teoremas envolvendo apenas uma variável .....	137
A3.2. Teoremas envolvendo 2 ou mais variáveis .....	137
A3.3. Teoremas envolvendo $n$ variáveis .....	138
A4. Resumo dos postulados e teoremas da álgebra de Boole .....	139
Apêndice B. FABRICAÇÃO DE CIRCUITOS IMPRESSOS PARA EQUIPAMENTOS DE ENTRETENIMENTO .....	140
B1. Finalidade de um circuito impresso .....	140
B2. Materiais utilizados .....	140
B3. Etapas da produção de um circuito impresso .....	141
B3.1. Estudo da "distribuição dos componentes" na chapa impressa (" <i>layout</i> ") .....	141
B3.2. Preparação do laminado .....	141
B3.3. Transferência do <i>layout</i> para a chapa impressa .....	142
B3.4. Proteção das ligações de cobre .....	142
B3.5. Banho de ataque (decapagem) .....	142
B3.5.1. Preparação da solução de persulfato de amônio $-(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ .....	142
B3.5.2. Preparação da solução de percloro de ferro $-\text{FeCl}_3$ .....	142
B4. Procedimento experimental .....	143
B5. Obtenção dos produtos necessários no mercado .....	143
B6. Exemplo concreto de um circuito impresso .....	144

Apêndice C. DESCRIÇÃO DETALHADA DA MONTAGEM E TESTES DO KIT M-101 da IBRAPE .....	147
C1. Cuidados especiais quanto às soldagens .....	147
C2. Operações de montagem .....	147
C3. Ajuste da polarização .....	149
C4. Instalação e ligações externas .....	150
C5. Diagrama do circuito elétrico interno do TAA 300 .....	151
C6. Observação importante .....	151
Apêndice D.	
Nomes e endereços dos principais fabricantes de circuitos integrados .....	152

## PREFÁCIO

O presente livro foi idealizado visando aos estudantes das escolas técnicas de eletrônica e aos técnicos de nível médio do Brasil, embora a cuidadosa seleção do material torne o livro útil para que estudantes de engenharia tenham uma visão prática do uso de circuitos integrados.

No Cap. 1 são apresentadas as noções básicas, classificação e introdução à fabricação de circuitos integrados monolíticos. O Cap. 2 aborda os tipos de encapsulamento, abrangendo o problema da identificação dos terminais dos circuitos integrados. O Cap. 3 apresenta os circuitos integrados existentes no mercado, analisando separadamente os campos linear e digital. No Cap. 4 são estudadas as aplicações práticas de circuitos integrados, muitas das quais poderão ser testadas pelos leitores, por envolverem componentes existentes no mercado nacional, como é o caso do *kit* M-101 da IBRAPE (amplificador de áudio com 1 w de saída). O Cap. 5 aborda os problemas práticos encontrados no uso de circuitos integrados, como montagens típicas, uso de soquetes, soldas, etc. O Cap. 6 trata da manutenção de equipamentos que utilizam circuitos integrados, ilustrando técnicas modernas para a manutenção de equipamentos digitais, como o uso de pulsadores, comparadores, etc. No Apêndice A são apresentadas noções sobre a álgebra de Boole, e portanto, os leitores, não familiarizados com técnicas digitais, devem ler esse apêndice, *antes* de estudarem a Sec. 3.1.2 (Noções sobre circuitos digitais) e a Sec. 4.3 (Aplicação de circuitos integrados no projeto de circuitos digitais). Nos cursos das escolas técnicas de eletrônica esse apêndice poderá ser integralmente inserido entre os Caps. 2 e 3; no Apêndice B é apresentada a fabricação de circuitos impressos para equipamentos de entretenimento; no Apêndice C é apresentada uma descrição completa do *kit* M-101 da IBRAPE — Indústria Brasileira de Produtos Eletrônicos e Elétricos S.A.; e no Apêndice D uma relação dos principais fabricantes de circuitos integrados sendo, quando possível, também indicados os respectivos representantes ou revendedores.

Com relação às noções básicas sobre dispositivos semicondutores aconselhamos o leitor a consultar o livro *Dispositivos semicondutores* — Hilton A. Mello e Edmond Intrator — Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

Menção especial fazemos ao fato de que todos os dados técnicos foram publicados com a cooperação de firmas nacionais e estrangeiras, que nos autorizaram a reprodução de curvas características, especi-

ficações e fotografias de componentes e equipamentos, destacando-se a Ibrape-Indústria Brasileira de Produtos Eletrônicos e Elétricos S.A., a Motorola Semicondutores do Brasil Ltda., a Fairchild Camera and Instrument Corporation e a Hewlett-Packard Company. A essas firmas cabe realmente o crédito pelas informações técnicas contidas nesta obra.

Apresentamos, portanto, o presente livro, certos de estarmos cooperando para a formação de técnicos brasileiros nesse campo fabuloso da microeletrônica.

Finalmente deixamos registrados os nossos agradecimentos ao Dr. José de Anchieta Wanderley da Nóbrega pelas críticas e sugestões, às Srt<sup>as</sup>. Eloína Cavalcanti Comes e Eneida A. Mendonça pelo trabalho de datilografia do original, e à Srt<sup>a</sup>. Maria da Conceição Franco da Silveira e ao Sr. Antônio Carlos Fernandes da Silva, pela execução dos desenhos originais.

H. A. M.

# 1 NOÇÕES BÁSICAS SOBRE A FABRICAÇÃO DE CIRCUITOS INTEGRADOS(\*)

## 1.1. DIVISÕES DA MICROELETRÔNICA

O advento da microeletrônica foi um dos mais notáveis avanços tecnológicos no campo da eletrônica, sendo fundamentalmente oriundo das restrições impostas ao peso, dimensões, potência consumida e confiabilidade dos circuitos, requisitos impossíveis de serem satisfeitos com os circuitos convencionais usando componentes discretos.

O campo da microeletrônica pode ser dividido em três grupos. No primeiro grupo temos o uso de minúsculos componentes (ainda convencionais) montados em unidades extremamente compactas, como é o caso dos micromódulos. No segundo grupo temos os chamados circuitos integrados, podendo esse grupo ser subdividido nos dois subgrupos seguintes: circuitos de semicondutores e circuitos de deposição(\*\*). A Fig. 1.1 ilustra essa classificação.

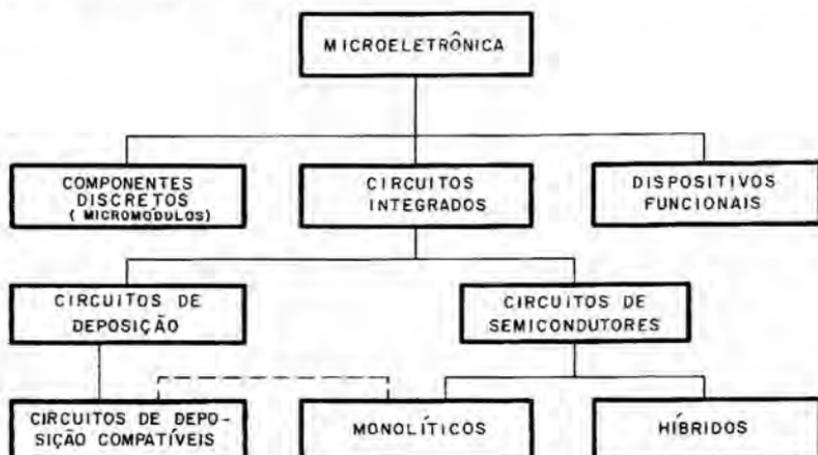


Figura 1.1 O campo da microeletrônica

(\*)Este capítulo é uma versão ampliada das Secs. 6.1 e 6.2 do livro *Dispositivos semicondutores*. Hilton A. Mello e Edmond Intrator. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. — 2.ª edição — 1974

(\*\*)Em inglês chamamos *thin-film circuits*; o nome que adotamos, "circuitos de deposição", não é uma tradução literal mas ilustra como o circuito é fabricado

A concepção básica, inerente aos circuitos integrados, é a construção de todos os componentes de um circuito (componentes passivos e ativos) numa mesma estrutura. Em outras palavras, os transistores, diodos, resistores, etc., são todos fabricados, interligados e incluídos em um mesmo invólucro. Por exemplo, um amplificador CC completo com todos os seus componentes é fabricado e encapsulado em um invólucro, algumas vezes semelhante ao de um transistor comum (evidentemente o número de terminais pode ser diferente).

Para ilustrar melhor a classificação anterior, consideremos o caso dos circuitos integrados de semicondutores, que abrangem dois grupos: os circuitos monolíticos<sup>(\*)</sup> e os circuitos híbridos. Nos circuitos monolíticos todos os componentes dos circuitos são fabricados por meio de uma tecnologia especial dentro da pastilha de silício, enquanto que nos circuitos híbridos várias dessas pastilhas são colocadas em um mesmo invólucro e são conectadas entre si. Na fabricação desses circuitos integrados de semicondutores o que se faz é uma série de difusões sucessivas, usando máscaras adequadas até se completar a estrutura desejada.

Os circuitos de deposição, como o nome indica, são circuitos obtidos pela "deposição" de camadas de materiais adequados, formando os diversos componentes; por exemplo, a deposição sucessiva de camadas de materiais metálico, isolante e metálico dá origem a um capacitor.

Também é interessante observar que existem os chamados circuitos integrados de deposição compatíveis, designando-se com isso circuitos fabricados por técnicas de deposição *que são compatíveis* com o processo de fabricação dos circuitos monolíticos. Por exemplo, em um circuito monolítico quando se necessita de elevados valores de capacitância ou resistência é possível obtê-los usando técnicas de deposição.

Finalmente, apenas para ser mais completo, podemos mencionar um terceiro grupo em que a microeletrônica se divide, o dos chamados dispositivos funcionais, o qual diz respeito a dispositivos nos quais um pedaço de material é tratado, de tal modo a adquirir as funções completas de um circuito, embora não se possa precisar qual a região do aludido material que possui essa ou aquela propriedade. Por exemplo, um filtro de quartzo pode funcionar como um circuito sintonizado, embora não se possa precisar qual é a parte do material que está fazendo o papel da indutância do circuito sintonizado. Isto é, nos dispositivos funcionais, são utilizadas as características globais dos materiais.

<sup>(\*)</sup>Do grego: *mono* (único) e *lithos* (pedra); portanto o nome indica uma "única pedra" ou, melhor dizendo, um "único cristal"

## 1.2. DETALHES TÉCNICOS FUNDAMENTAIS

Conforme já mencionamos os circuitos integrados monolíticos são aqueles em que todos os componentes do circuito são fabricados em um único cristal de silício e interligados formando o circuito, sendo finalmente essa pastilha encapsulada. Neste livro focalizaremos apenas os circuitos integrados monolíticos mas o leitor deve lembrar que existem os outros tipos já mencionados anteriormente.

Ora, um circuito completo consta de transistores, diodos, capacitores, resistores, etc., interligados de modo a que o conjunto apresente uma determinada característica. Vamos, portanto, estudar separadamente como todos esses componentes podem ser fabricados usando-se exclusivamente um material semicondutor como o silício; mas estudaremos antes alguns tópicos importantes.

### 1.2.1. Obtenção das pastilhas de silício

Evidentemente, o passo inicial para a fabricação de dispositivos de semicondutores utilizando o silício é a obtenção do mesmo, o que é feito pela redução do óxido de silício, obtendo-se, nesse processo, silício com 98% de pureza. Uma vez que necessitamos reduzir o nível de impurezas para a faixa de um átomo de impurezas para cada  $10^9$  átomos de silício, deve ser utilizado um processo adicional de purificação. Usa-se, então, o chamado processo de fusão por zona, que se baseia no fato de as impurezas serem mais solúveis na fase líquida do silício do que na fase sólida. A idéia é fundir o silício em um ponto da barra inicialmente impura; se o ponto de aquecimento é, a seguir, deslocado ao longo da barra (o que implica em deslocar a fase líquida no mesmo sentido), as impurezas, mais solúveis na fase líquida, também se deslocarão no sentido do movimento do aquecimento. Essa operação é repetida um grande número de vezes, até que as impurezas estejam concentradas numa das extremidades da barra, possuindo, o restante da barra, um nível aceitável de impurezas. A extremidade impura é então desprezada, ficando-se apenas com a parte purificada.

Poderia parecer, neste ponto, que temos o silício pronto para a fabricação de dispositivos semicondutores; entretanto, a estrutura cristalina do cristal obtido está cheia de anomalias. A fim de obter um cristal em que a rede cristalina tenha a perfeição exigida, fundimos o cristal anteriormente obtido e fazemos o chamado *crescimento*. Um método para fazer tal crescimento é o chamado de Czochralsky, que consiste em colocar em contato com o material fundido uma semente perfeita do cristal em questão, com a orientação desejada; a seguir, essa semente é lentamente retirada, permitindo a solidificação do material em torno da mesma, crescendo o cristal com a mesma estrutura cristalina da semente utilizada. Por meio desse processo conse-

gue-se, por exemplo, uma barra cilíndrica de 2,5 cm de diâmetro e, digamos, 10 cm de comprimento.

É extremamente importante notar, neste ponto, que é possível adicionar ao material fundido, antes da colocação da semente, a impureza tipo *P* (boro, índio, ...) ou *N* (fósforo, antimônio, ...) desejada, crescendo o cristal, respectivamente, tipo *P* ou tipo *N*. Ainda nessa fase de preparação do material, o cilindro obtido é cortado em pastilhas (*wafers*) de aproximadamente 2,5 cm de diâmetro e 200  $\mu\text{m}$  ( $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{m}$ ) de espessura, sendo o corte dessas pastilhas feito por meio de serras anulares de diamante. Finalmente as pastilhas são polidas (por processos mecânicos ou químicos), a fim de apresentar uma superfície livre de imperfeições, estando prontas para serem submetidas ao chamado processo epitaxial.

### 1.2.2. Formação da camada epitaxial

Suponhamos, por exemplo, que impurezas tipo *P* tenham sido adicionadas ao silício fundido, sendo obtidas pastilhas tipo *P*. Esquematicamente, representaremos essa pastilha como na Fig. 1.2.

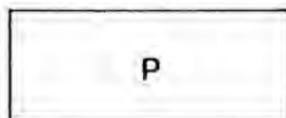


Figura 1.2 Pastilha de silício tipo *P*

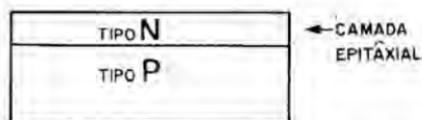


Figura 1.3 Estrutura epitaxial *PN*. Não há descontinuidade alguma na estrutura cristalina

A idéia é fazer crescer em cima da camada tipo *P* da Fig. 1.2 uma camada tipo *N*, mantendo a mesma estrutura cristalina da camada tipo *P*. Em outras palavras, não deve haver descontinuidade alguma na estrutura global resultante, obtendo-se, portanto, uma estrutura que é um cristal único. Apenas, o que acontece é que, numa região, as impurezas são predominantemente do tipo *P* e, na outra região, as impurezas são predominantemente do tipo *N*. O crescimento dessa camada, chamada camada *epitaxial*, é feito em fornos especiais e o nome epitaxial, na realidade, significa "arranjado em cima", dando uma idéia do processo.

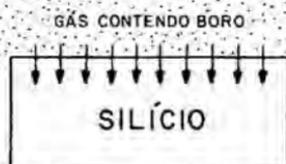
Na Fig. 1.3 está representada esquematicamente a estrutura resultante após a formação da camada epitaxial, sendo a mesma básica para a fabricação dos circuitos integrados pelo processo chamado epitaxial-difundido.

A região *P* é chamada de substrato e terá por função dar resistência mecânica ao conjunto e servir para a formação de "ilhas" conforme será visto oportunamente.

### 1.2.3. Processo de difusão selecionada

Conhecemos o fenômeno da difusão e sabemos que há sempre o deslocamento de partículas de um ponto onde a sua concentração é elevada para pontos de concentração reduzida<sup>(\*)</sup>. Suponhamos, então, uma pastilha de silício tipo *N*, colocada em contato com um gás contendo uma impureza tipo *P* (boro, por exemplo); devido ao fenômeno da difusão, o boro começará a penetrar no silício, como indica a Fig. 1.4.

Figura 1.4 Difusão do boro no silício



Imaginemos que pretendamos que o boro penetre apenas em regiões selecionadas da pastilha de silício. Para conseguir esse objetivo, devemos proteger a superfície do silício com um material que impeça a penetração da impureza nas regiões indesejáveis. Isso é feito deixando a superfície do silício se oxidar e abrindo janelas no óxido exatamente onde o boro deve penetrar. A Fig. 1.5 ilustra o processo da difusão selecionada, onde a impureza consegue penetrar no silício exatamente onde o óxido não protege a superfície do cristal.



Figura 1.5 Difusão selecionada: o óxido de silício protege as regiões onde a impureza não deve penetrar

É oportuno salientar neste ponto, que, se a pastilha fosse mantida à temperatura ambiente durante a difusão, um tempo praticamente infinito seria necessário para a penetração da impureza. A fim de acelerar o processo, a pastilha é colocada em um forno (forno de difusão), onde são mantidas temperaturas da ordem de 1 100 a 1 300 °C com grande precisão.

### 1.2.4. Processo de abertura de janelas no óxido de silício

A abertura de janelas no óxido de silício é feita por um processo inteiramente análogo ao utilizado para a fabricação de circuitos impressos pelo processo fotográfico.

<sup>(\*)</sup>Veja "Dispositivos Semicondutores — Hilton A. Mello e Edmond Intrator — Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. — Sec. 1.3.5a"

## Thank You for previewing this eBook

You can read the full version of this eBook in different formats:

- HTML (Free /Available to everyone)
- PDF / TXT (Available to V.I.P. members. Free Standard members can access up to 5 PDF/TXT eBooks per month each month)
- Epub & Mobipocket (Exclusive to V.I.P. members)

To download this full book, simply select the format you desire below

