

## MATERIAIS PARA DISCOS DE MEMÓRIAS ÓTICAS

Neelkanth G. Dhere

Instituto Militar de Engenharia, CPqM,  
Praça Gen. Tibúrcio, 80, Urca,  
22290 - Rio de Janeiro - RJ

Embora videodiscos e tocadiscos, utilizando armazenamento ótico, estejam sendo comercializados desde 1977, memórias óticas foram lançadas comercialmente somente em 1982. A demora de cinco anos se deve principalmente as dificuldades na fabricação de materiais adequados. Os problemas consistem em estabilidade, durabilidade (tempo máximo de estocagem), taxa de incidência de erros - "bit errors rate (BER)" e, mais importante, problemas de materiais. Diversos materiais estão sendo empregados e alguns outros testados. O trabalho apresenta um estudo global de diversas tecnologias, utilizando-se diferentes materiais, na confecção dos discos de memórias óticas.

Disco Ótico, Memórias

### 1. INTRODUÇÃO

A tecnologia do disco compacto para memória - "Compact Disc Read Only Memory" (CD ROM) está trazendo uma revolução na obtenção de informação, devido a enorme capacidade de fornecer os dados uma vez armazenados (1). Um único disco pode armazenar a informação contida numa enciclopédia de 20 volumes com 9 milhões de palavras, os dados financeiros de dez mil corporações ou um arquivo inteiro. Toda a informação pro

curada sendo fornecida rapidamente em segundos.

O disco compacto poderá se adaptar perfeitamente ao microcomputador de uso pessoal. Um disco compacto com 120 mm de diâmetro poderá armazenar dados de até 120 disquettes com diâmetro de 133 mm. Espera-se que os preços dos "drives" do disco compacto situem-se em US\$ 500 e de disco virgem em US\$ 5. A tabela I compara as capacidades, tamanhos e custo, etc dos diversos tipos de dispositivos de memórias. O disco oferece adicionalmente ao acesso aleatório, as vantagens de durabilidade, cambiabilidade, mobilidade, segurança e flexibilidade. O disco pode ser retirado do "drive". A superfície do disco não toca na cabeça do leitor, é protegida por uma camada e as partículas de poeira não influenciam na leitura. Também, o disco é pequeno o suficiente para envio pelo correio num envelope.

Em comparação com a informação na forma alfanumérica o armazenamento das imagens, desenhos requerem grandes espaços de memória. Por exemplo uma folha de tamanho A4 contém 1 Kilobyte de informação na forma de caracteres alfanuméricos. Porém, uma imagem digitalizada numa matriz de 8 pontos por mm nas direções horizontal e vertical, necessitará 460 kbyte de espaço, que utilizando as técnicas de compressão poderá ser reduzida dez vezes. Os discos compactos poderão satisfazer este mercado. Especialmente em caso de algumas das tecnologias de tipo corante-polímero desenvolvido pela Kodak as taxas de armazenamento são suficientemente grandes para possibilitar uso em aplicações de tempo real.

Discos compactos para memória são similares aos discos compactos de música digital, disponíveis comercialmente desde 1977 (1,2). O lançamento comercial das memórias óticas demorou até 1982, uma vez que os requisitos dos discos para memórias óticas são muito mais rígidos e difíceis. Os drives em princípio são similares, existindo apenas algumas modificações de eletrônica em termos de necessidade ou não de conversor analógico-digital, proteção para controladores de servo-mecanismos e principalmente um sistema muito mais sofisticado de correção dos erros. Os problemas do disco

consistem em estabilidade, durabilidade (tempo máximo de estocagem), problemas de fabricação dos discos e taxa de incidência de erros "Bit Error Rate - (BER)". Uma taxa de incidência - BER de 1 erro em  $10^8$  é perfeitamente aceitável em discos para música, enquanto que para aplicações em memória a BER corrigida de melhor que 1 em  $10^{12}$  precisa ser alcançada. Neste sentido a dificuldade principal foi a de materiais adequados. Diversos materiais estão sendo testados, sem que se tenha até o momento uma definição clara da melhor tecnologia. As principais empresas estão, portanto, trabalhando com mais de um tipo. A demora de cinco anos se deveu também ao receio de um fracasso devido à introdução de uma tecnologia prematura, como a das videotitas para armazenamento de dados nos anos 60. Faltou, também, a padronização. Até o tamanho do furo central não estava definido. O potencial, porém, é muito grande e muitas companhias estão apostando verbas vultuosas na pesquisa, desenvolvimento e engenharia (1-7). Um exemplo seria o anúncio de um plano de "joint venture" entre dois gigantes industriais como Du Pont e Philips para produzir discos óticos com venda projetada até 1990 de 1 bilhão de dólares ao ano. Muitas companhias tais como Hitachi, Sony, Philips e DEC têm planos para produzir os "drives" para CD-ROM (1).

## 2. FUNCIONAMENTO

A estrutura do disco ótico consiste de substrato, camada ativa e camada protetora. O substrato pode ser do material plástico da família vinyl, o mesmo usado nos discos comuns de música ou placas de alumínio com uma cobertura de filmes finos em camada única ou em multicamadas, e possui uma boa refletividade para que possa ser modificada em microregiões bem definidas, através de pulsos de raio laser de pequena potência. A camada protetora é transparente, espessa, permite manuseio fácil e também possibilita desfocalização das partículas de poeira reduzindo sua interferência durante a gravação e a leitura (1-3).

A fig. 1 mostra a incidência do raio laser sobre o disco ótico. Durante o processo de gravação os pulsos do raio laser geram buracos, bolhas ou vesículas ("blisters") ou ainda modificam a refletância modificando os coeficientes de refração e extinção. O arranjo para leitura é similar ao da fig. 1, sendo que a energia do feixe do laser é muito pequena. A configuração dos buracos, bolhas ou marcas, que modifica o sinal refletido do raio laser de leitura, é utilizada para reproduzir a sequência original de bits. O tamanho ou posicionamento das marcas em relação ao seu vizinho pode também estocar a informação (1-2).

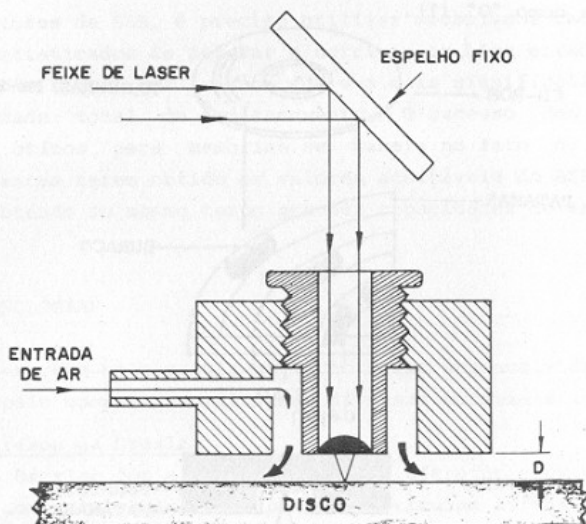


Fig. 1 - Arranjo para a incidência do raio laser sobre disco ótico.

A fig. 2 mostra os detalhes do disco e a geometria das marcas (buracos) em relação ao feixe incidente do laser de leitura. A tecnologia atual permite a formação dos buracos com largura de  $0,6\text{ }\mu\text{m}$ . As ranhuras com espaçamento de  $1,6\text{ }\mu\text{m}$  nos discos atuais são utilizadas para guiar o feixe e assim minimizar os erros de posicionamento. Isto porém limita a capacidade de armazenamento. Como mostrado na fig. 1, um colchão de ar mantém um espaçamento entre o disco e o sistema ótico e o laser que não toca no disco. A leitura é realizada através da mudança na intensidade do feixe refletido dos patamares e dos buracos. A tendência natural seria de designar aos patamares e buracos os respectivos valores de "0" e "1" na sequência digital. Porém as transições do patamar para o buraco e vice-versa, sendo mais fáceis de serem detectadas são considerados como "1" e a sua ausência como "0" (1).

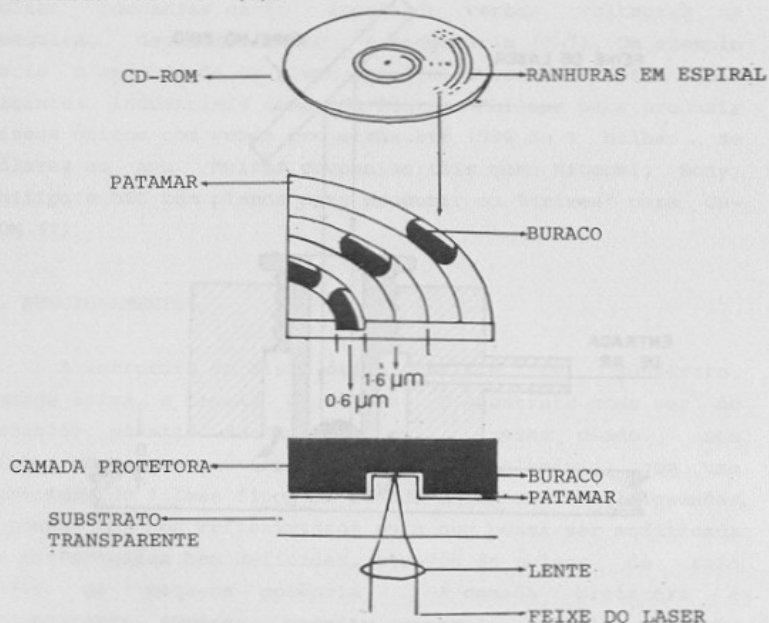


Fig. 2 - Detalhes do disco ótico e geometria dos buracos em relação ao feixe incidente do laser.

A taxa de incidência de erros "Bit Error Rate - (BER)" corrigida é um fator importante e deve ser estipulada para cada aplicação. O valor de BER corrigido das memórias magnéticas dos computadores de grande porte é de 1 em  $10^{13}$ , enquanto que para os disquetes é de 1 em  $10^9$ . A BER cru ou não corrigida dos atuais discos óticos é de 1 em  $10^6$ . É interessante notar que este valor é adequado para as aplicações de armazenamento das imagens na forma digital, os bits errados aparecendo como ocasionais pontos pretos sem uma deterioração notável na qualidade da imagem. Os toca discos "drives" dos discos compactos de música são equipados com dispositivo simples e barato para corrigir o valor do BER ao nível de 1 em  $10^8$ . O valor de BER corrigido para aplicações em grandes, mini e microcomputadores deve ser menor que de 1 em  $10^{12}$ . Para atingir melhoria em cada década nos valores de BER, é preciso utilizar mecanismos cada vez mais sofisticados de detectar e corrigir os bits errados. Isto também requer uma fração cada vez mais significativa da capacidade total de armazenamento. O sucesso dos atuais discos óticos para memórias se baseia no fato de vários fabricantes terem obtido os valores aceitáveis do BER corrigido obtendo ao mesmo tempo grandes capacidades de armazenamento.

### 3. TECNOLOGIAS

Descreve-se a seguir as tecnologias desenvolvidas pelas principais companhias utilizando diversos materiais (1-8):

#### Drexon da Drexler

A Drexler foi a primeira firma a oferecer o produto na forma comercial. Seu disco possui partículas esféricas, que refletem, e filamentosas, que absorvem, de compostos de Ag (AgCl, AgI), embutidas numa matriz de polímero (gelatina).

As partículas filamentosas absorvem a energia do feixe incidente de laser. O aquecimento acima de  $200^{\circ}\text{C}$  funde o polímero, que após solidificação, deixa uma marca de baixa reflexão. Necessita-se pequena potência para fundir o polímero. Pode-se utilizar portanto o laser semiconductor tipo diodo. O



polímero encolhe durante a solidificação. O furo deixado, portanto, não apresenta acúmulo nas bordas (fig. 3). Os furos possuem diâmetro de 0,8 a 1,0  $\mu\text{m}$ . A Drexler fabrica discos de 120mm e 300mm de diâmetro com ou sem camadas protetoras e com respectivas capacidades, por superfície de 200 megabytes e 1,25 gigabytes; e também cartões de crédito com banda de memória ótica com capacidade de 200 kilobytes.

#### Philips

A Philips utiliza a estrutura de sandwich (fig. 4) de ar limpo numa cavidade com espessura de 20mm. Os substratos são de vidro (Holanda) ou de plástico (América do Norte) que, apesar da porosidade à umidade, devem durar 10 anos. O filme fino ativo é de telúrio com espessura de 300  $\text{\AA}$ .

A fig. 5 mostra os furos com 0,7  $\mu\text{m}$  de diâmetro e espaçamento de 2  $\mu\text{m}$ . Discos com 300mm de diâmetro tem capacidade de 1,25 Gbyte por superfície. Correção de erros de 1 em  $10^9$  e BER corrigido de 1 em  $10^{12}$  podem ser alcançadas. Utilizava-se laser semiconductor para gravar e de He-Ne para ler. Porém, atualmente, para automação dos escritórios, o laser semicon-

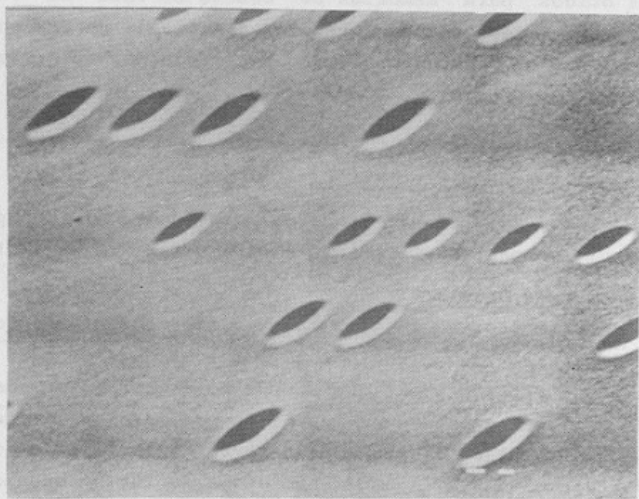


Fig. 3 - Micrografia de um disco-ótico da Drexler mostrando os furos em sua superfície.

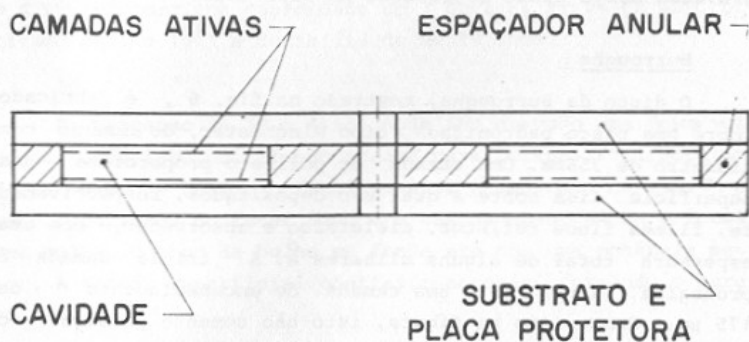


Fig. 4 - Estrutura de sandwich utilizada pela Philips.

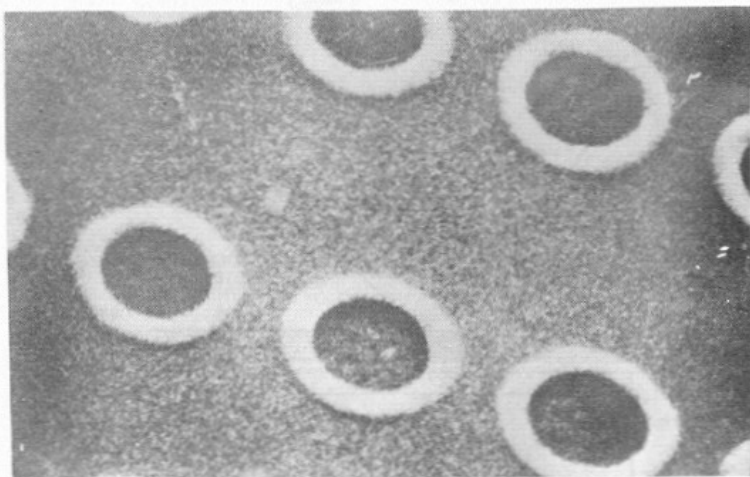


Fig. 5 - Micrografia da superfície de um disco-ótico da Philips mostrando furos de  $0,7 \mu\text{m}$  de diâmetro.



dutor está sendo utilizado satisfatoriamente para a leitura. Os discos atuais são providos de ranhadura que facilita a gravação mas a custo de redução na capacidade.

### Burroughs

O disco da Burroughs, mostrado na fig. 6, é fabricado sobre uma placa padronizada, tipo Winchester, de alumínio com diâmetro de 356mm. Uma camada de polímero proporciona uma superfície lisa sobre a qual são depositados, respectivamente, filmes finos refletor, dielétrico e absorvedor, com uma espessura total de alguns milhares Å. A tripla camada é protegida, ainda, por uma camada de encapsulamento de 175  $\mu\text{m}$ . Como visto na figura, isto não somente protege o disco contra partículas de poeira como também permite evitar-se erros devido a essas partículas, pelo efeito de desfocalização.

O processo de funcionamento é pela mudança nos coeficientes de refração  $n$  e de extinção  $k$ . O processo difere da transformação amorfa-cristalina e tendo pouco movimento do

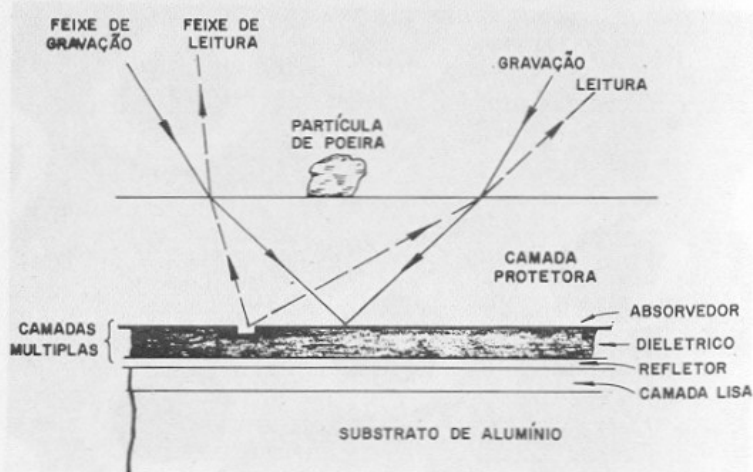


Fig. 6 - Efeito de desfocalização sobre partícula de poeira no disco-ótico com camadas múltiplas da Burroughs.

material, necessita de potência pequena. Utilizando laser de He-Ne, com tamanho de marcas de  $0,6 \mu\text{m}$  e espaçamento de  $1,7 \mu\text{m}$ , o disco proporciona capacidade de 2 Gbytes. Prevê-se BER corrigida de 1 e  $10^{12}$  e durabilidade de 10 anos.

### 3M

No processo de 3M o disco pode ser gravado uma única vez, sendo, após isso, utilizado apenas para leitura ("direct read after write" - DRAW). O funcionamento é mostrado na Fig. 7. O raio focalizado do laser aquece a camada absorvedora e forma uma bolha. O topo da bolha se funde até com uma potência menor. A tensão superficial contrai o material formando o buraco.

### KODAK

A Eastman Kodak utiliza o processo de polímero e corante: A camada dupla permite a produção de buracos, como mostrado na fig. 8. Nos trabalhos iniciais o disco apresentava boa estabilidade e boa sensibilidade.

Após alguns anos, a Kodak verificou, provavelmente devi

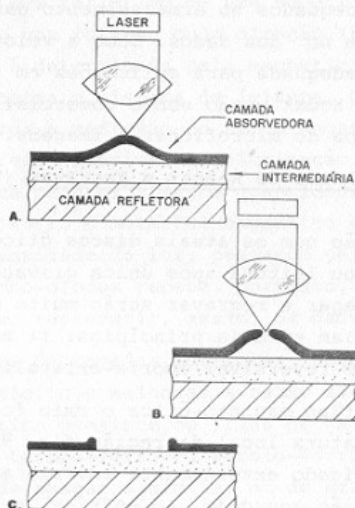


Fig. 7 - Processo de gravação do disco-ótico tipo draw da 3M.

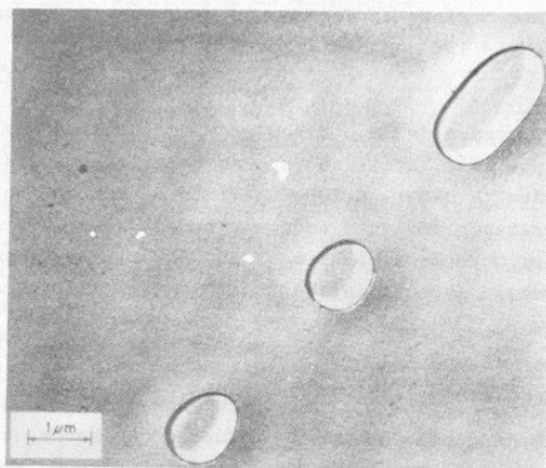


Fig. 8 - Micrografia da superfície com buracos do disco ótico da Kodak.

do a um valor alto do BER, que os discos óticos da sua fabricação são mais adequados no armazenamento das imagens na forma digital do que no dos dados. Como a velocidade de gravação e leitura é adequada para aplicações em tempo real, os discos óticos da Kodak estão sendo comercializados para aplicações em arquivos de microfichas e imagens. (8).

#### Discos com Capacidade de Apagar e Regravar (Read and Write Memories)

Em comparação com os atuais discos óticos, que permitem somente leitura ou leitura após única gravação, os discos com capacidade de apagar e regravar serão muito mais úteis. As técnicas se baseiam em dois princípios: i) magneto-ótica e ii) transformação reversível amorfa-cristalina.

Na gravação tipo magneto-ótica o raio focalizado do laser aumenta a temperatura local da região (fig. 9) no foco. O campo magnético aplicado externamente inverte a direção da magnetização na região aquecida. Ao esfriar, a região com a magnetização invertida se mantém estável.

O princípio de leitura se baseia no efeito Kerr, que é

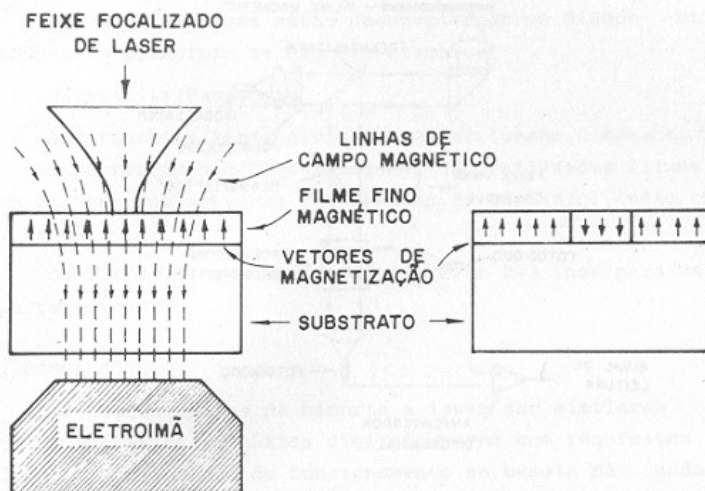


Fig. 9 - Processo de gravação tipo magneto-ótico.

complementar ao efeito Faraday. Quando um feixe de luz polarizado linearmente é refletido de uma superfície, o vetor de polarização sofre uma rotação cuja direção (no sentido do relógio ou contra) é determinada pela magnetização da superfície. A fig. 10 mostra o sistema de leitura. O feixe polarizado do laser, após a reflexão no filme magnetizado, passa pelo divisor de feixe sensível à polarização. Os foto-diodos são ajustados para receber a mesma quantidade de luz na ausência do efeito Kerr. O material magnético afeta a polarização, sendo a intensidade da luz, passando pelo divisor, modificada. Um dos foto-diodos recebe, portanto, maior quantidade de luz, podendo reproduzir, assim, os dados binários.

Uma estrutura de camadas múltiplas, como na fig. 11, permite aumentar o efeito e melhorar a razão sinal/ruído. O material magneto-ótico consiste de ligas de gadolínio-cobalto, gadolínio-ferro, térbio-ferro ou térbio-ferro-cobalto.

O processo de apagar é similar ao de gravação, exceto que a direção do campo do ímã externo é mantida oposta. Geralmente, apaga-se trechos completos antes de regravar. O pro

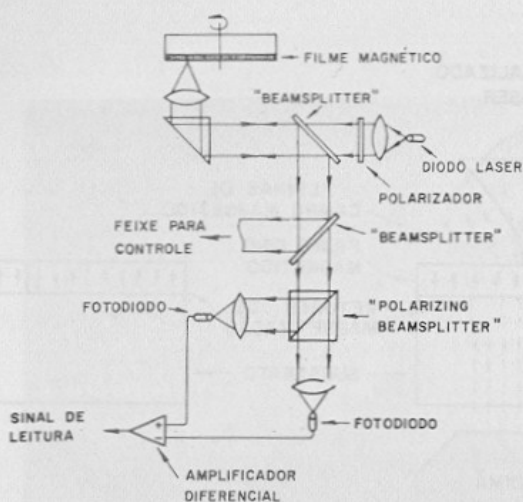


Fig. 10 - Sistema de leitura do disco-ótico do tipo magneto-ótico.

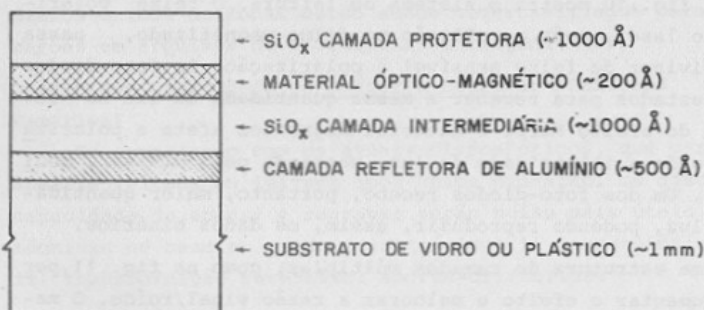


Fig. 11 - Estrutura de camadas múltiplas do disco-ótico tipo magneto-ótico.

cesso permite manter o eletro-ímã a uma distância de alguns milímetros. Isto permite o uso de camadas protetoras.

Diversas empresas estão desenvolvendo os discos utilizando-se o princípio de magneto-ótica.

#### Matsushita/Panasonic

A Matsushita/Panasonic está desenvolvendo disco-ótico tipo po transformação amorfa-cristalina. São utilizados filmes finos de  $\text{TeO}_x$  com pequenas quantidades de germânio, índio, chumbo, etc.

Os discos-óticos apagáveis devem levar 2-3 anos para maior aperfeiçoamento.

#### 4. CONCLUSÕES

Os discos óticos de memória a laser são similares aos discos compactos de música digital, porém com requisitos mais rígidos. O princípio de funcionamento se baseia na mudança de refletância numa região microscópica bem definida, de uma camada ativa que, na maioria de casos, é de telúrio ou seus compostos.

Atualmente o tipo disponível comercialmente é de leitura de dados gravados uma única vez, "Read Only Memory", enquanto os discos óticos com facilidade de apagar e regravar estão sendo desenvolvidos.

Devido a revolução que a introdução deste tipo de memória pode ocasionar, muitas companhias, entre elas, as maiores do mundo, estão executando intensos programas de pesquisa de desenvolvimento, fabricação e comercialização.

#### 5. REFERÊNCIAS

- 1 - E. Rothchild, Byte, 8 (1983) 86.
- 2 - P.P.-S. Chen, IEEE Spectrum, abril de 1986, p.44.
- 3 - E. Labudde, Photonics Spectra, maio de 1982, p.61.
- 4 - J.T. Riordan, Photonics Spectra, julho de 1984, p.45.
- 5 - M. Mansuripur, Photonics Spectra, outubro de 1984, p.59.
- 6 - D.H. Davies, Photonics Spectra, maio de 1983, p.89.



7 - J. McLeod, Optical Spectra, novembro de 1981, p.52.

8.- P. Giles, Photonics Spectra, maio de 1986, p.57.

#### 6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi patrocinado pelo Ministério do Exército, Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, através do Centro de Pesquisa de Materiais do Instituto Militar de Engenharia. O autor agradece também ao Dr. Edward Rothchild e ao Dr. J. Timothy Riordan pelo uso das figuras.