

# Os revestimentos de diamante e o futuro

JOSÉ FRANCISCO DE MARTINS DE AZEVEDO E SILVA

Departamento de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa

*Descrevem-se algumas propriedades, aplicações e métodos de produção de revestimentos de superfícies com filmes de diamante. Sugerem-se experiências de realização aparentemente fácil, envolvendo estudos paramétricos das condições de deposição.*

## Introdução

O tratamento de superfícies constitui actualmente um dos campos da investigação científica e tecnológica em maior expansão. Em particular, no que se refere ao revestimento de superfícies destinadas a aplicações específicas de grande exigência quanto às suas características físicas, mecânicas e químicas, os filmes de diamante sintético desempenham — entre muitos outros tipos de revestimentos com tecnologias já mais bem estabelecidas — um papel fundamental.

Considere-se, com efeito, uma propriedade qualquer de um determinado material: no diamante, essa propriedade terá, quase certamente, um valor extremo.

Embora as propriedades excepcionais do diamante sejam conhecidas há muitos séculos, o reconhecimento de que a sua composição é de carbono puro é relativamente recente.

Foi Lavoisier quem, em 1772, descobriu que o produto da combustão do diamante era simplesmente anidrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ). Isto levou a que, anos mais tarde, se começasse a pensar em fabricar diamantes artificiais. A primeira referência escrita anunciando a síntese do diamante, foi feita em 1832 por Cagniard de la Tour. Não há, contudo, a certeza dessa experiência ter sido bem sucedida, visto que se perderam os seus produtos finais.

Desde então, multiplicaram-se as tentativas de fabrico de diamantes artificiais, mas só em 1954 elas tiveram êxito. Os investigadores da General Electric conseguiram nessa data sintetizar diamante a partir da grafite, submetendo-a

a altas pressões e temperaturas [1]. A General Electric já conseguiu também sintetizar diamante tendo o whisky como matéria-prima, enquanto que no Nippon Institute of Technology, no Japão, já se realizou essa síntese a partir do saké [2].

Actualmente, o diamante para usos industriais é produzido sem qualquer dificuldade, utilizando esses métodos de altas pressões e temperaturas.

No entanto, a produção de revestimentos de filmes finos de diamante produzidos a baixas pressões e susceptíveis de responderem às severas solicitações da moderna tecnologia, é um assunto muito mais delicado.

## A estrutura do sistema

O diamante é constituído por átomos de carbono, tal como a grafite. A principal diferença entre os dois materiais reside na estrutura cristalina e nas interligações atómicas: enquanto no diamante essa estrutura consiste num conjunto de átomos de carbono dispostos tetraedricamente e fortemente unidos covalentemente por ligações híbridas  $sp^3$ , na grafite os átomos estão dispostos em camadas de simetria hexagonal em que as ligações interatómicas são  $sp^2$ . Essas camadas estão francamente acopladas entre si por forças de Van-der-Waals, o que confere à grafite o seu carácter lubrificante visto que essas camadas deslizam facilmente umas sobre as outras.

Os filmes finos de carbono que se produzem actualmente, são muitas vezes constituídos por

uma mistura dos dois tipos de ligação dos átomos de carbono (e também pela presença de quantidades variáveis de hidrogénio) o que determina as suas características finais. Quando coexistem os dois tipos de ligação, juntamente com percentagens variadas de hidrogénio, os filmes denominam-se de tipo-diamante (diamond-like) ou carbono amorfo, embora esta última designação não seja muito apropriada. Um excelente critério para classificar os filmes é dado pelo quociente  $R = sp^2 / (sp^2 + sp^3)$  [3]. Os valores de R diferem consideravelmente consoante o carácter do filme e estão muitas vezes directamente relacionados com as suas propriedades. Para os filmes de diamante o valor de R pode variar entre  $R = 10^{-1}$  e  $R < 10^{-8}$ , enquanto para os filmes tipo-diamante esse valor é bastante mais elevado.

Note-se, (Fig. 1), que a estrutura do diamante não é estável à pressão e temperatura ambientes: o diamante transforma-se lenta-

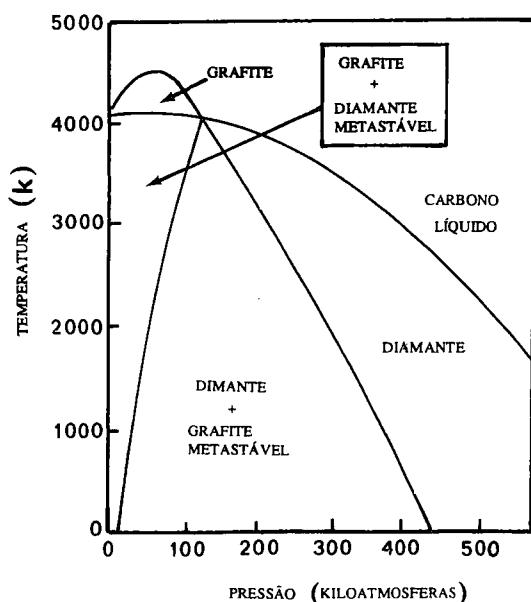


Fig. 1 — Diagrama de fases.

mente, com o tempo, em grafite. No entanto esse processo leva muitos milhões de anos a concretizar-se, pelo que as senhoras não têm que recear a perda das suas jóias...

## Propriedades

O diamante é, por enquanto, o mais duro material que se conhece. A situação pode alterar-se, todavia, se se conseguir sintetizar materiais em que intervenham ligações carbono-azoto do mesmo tipo que as ligações carbono-carbono existentes no diamante, mas ainda um pouco mais fortes que estas. Um dos compostos que a teoria prevê que se possa vir a sintetizar, o  $\beta\text{-C}_3\text{N}_4$ , seria esse possível (e hipotético) novo material [4].

A conductividade térmica do diamante é também muito grande: cerca de quatro vezes maior que a do cobre à temperatura ambiente.

O coeficiente de atrito, pelo seu lado, é muito pequeno: cerca de metade do da grafite ou de um metal lubrificado. O mecanismo responsável pelo baixo coeficiente de atrito do diamante é, no entanto, totalmente diferente do da grafite.

Quanto às propriedades ópticas, acústicas, químicas e eléctricas, todas elas são tão interessantes que permitem uma exploração importante nos mais variados domínios, como veremos mais adiante.

Na Tabela I apresentam-se algumas propriedades dos filmes de diamante.

TABELA I — Algumas propriedades dos filmes de diamante.

Estrutura	Policristalina
Dureza (Knoop) (Kgf/mm <sup>2</sup> )	7000 — 10000
Coefficiente de atrito	0.05 — 0.15
Conductividade térmica (W/cm.K) (Diamante natural: $\approx$ .cm)	7 — 12
Resistividade eléctrica ( $\Omega$ -cm)	$10^{16}$
Hiato energético (eV)	5.5
Índice de refração	2.42

## Aplicações

O campo de aplicações dos revestimentos de filmes de diamante é muito vasto e constitui um assunto fascinante, sendo essa a razão porque a deposição desses filmes constitui um

dos mais importantes desafios tecnológicos da presente década e do futuro.

Tem interesse chamar aqui a atenção para o facto de que o diamante isotopicamente puro, i.e., constituído a 100 % por carbono 12, tem propriedades ainda mais extremas que o diamante «natural» (99 % de carbono 12 e 1 % de carbono 13) [5]. Assim, tanto a dureza como a condutividade térmica aumentam substancialmente tal como o custo da produção. Todavia, alguns investigadores pensam que, no futuro, as vantagens do diamante sintético isotopicamente puro compensarão esse custo.

Um das aplicações do diamante é como pedra preciosa. No entanto, a produção de diamante sintético para este fim não é rentável visto que os maiores cristais sintetizados a baixas pressões, embora de excelente qualidade, têm massas inferiores a um carat (0.2 g) e dimensões inferiores a um milímetro.

Muito mais importante é a deposição de filmes finos, microcristalinos, revestindo superfícies destinadas aos mais diversos fins.

As características de dureza dos filmes são aproveitadas para o revestimento de ferramentas de corte aumentando muito a sua duração e resistência ao desgaste. A precisão das ferramentas é também muito aumentada devido às microscópicas dimensões do fio susceptíveis de se conseguirem ( $\approx 1$  nm) o que leva a que as peças trabalhadas por estas ferramentas dispensem, eventualmente, qualquer polimento posterior. Em medicina, por exemplo, torna-se possível o fabrico de bisturis de grande precisão. Há, por outro lado, limitações para esta aplicação: além de problemas de adesão, as ferramentas não podem ser usadas para trabalhar aços, por exemplo, devido ao facto do carbono se combinar facilmente com eles formando carbonetos metálicos.

O aproveitamento da conductividade térmica dos filmes pode torná-los muito eficientes como condutores do calor em várias aplicações electrónicas. Assim, e tomando como exemplo o caso dos computadores, sabe-se que a sua velocidade de processamento depende, entre outros factores, do comprimento das linhas de transmissão dos sinais entre os diversos cir-

cuitos integrados que os constituem. Esse comportamento é, por sua vez, fortemente condicionado pela necessidade de dissipar eficazmente o calor nelas gerado. Se esse calor for transferido duma maneira eficiente para a fronteira das placas e aí absorvido, então os circuitos integrados podem ser mais densamente concentrados, com a consequente redução das dimensões das placas, aumentando portanto o espaço disponível para outros componentes.

Note-se que o revestimento de diamante funciona apenas como condutor do calor e não como sumidouro: isto porque, embora o diamante tenha uma grande conductividade térmica, a sua capacidade calorífica, que depende da massa molecular, não é muito elevada (cerca de 25 % da do cobre).

Ainda no que diz respeito à electrónica, existem possibilidades de usar as propriedades do diamante como semiconductor de elevado hiato indirecto (5,5 eV) na realização de componentes de circuitos de características excepcionais. Houve quem afirmasse que, com o diamante, «tinha chegado ao fim a idade da areia» (numa alusão ao domínio do Silício neste campo). Por exemplo, seria possível, entre muitas outras coisas, a produção de LED'S (Light Emitting Diodes) azuis. No entanto, investigações mais recentes contestam esse optimismo quanto à utilização do diamante como semiconductor revolucionário, pondo em dúvida algumas dessas aplicações, pelo menos no futuro mais próximo [6].

Outra aplicação importante dos revestimentos de diamante baseia-se no seu coeficiente de atrito. Essa propriedade pode ser muito útil na construção de turbinas de alta velocidade, por exemplo, e, de um modo geral, em qualquer aplicação tribológica que envolva transmissão de movimento sem lubrificação e sem manutenção. Isto sem falar no potencial enorme mercado dos utensílios de cozinha dispondo, pela primeira vez, de um revestimento simultaneamente duro e não aderente aos alimentos, tão do agrado das donas de casa...

Quanto às propriedades acústicas, a principal aplicação é na produção de altifalantes de alta fidelidade com reprodução óptima das

altas frequências. Estes altifalantes são já comercializados pela Sony.

Do ponto de vista químico, o diamante é praticamente inerte («diamonds are forever»). De facto, abaixo dos 400°C o diamante é virtualmente imune a qualquer ataque químico. Isto torna-o no revestimento ideal para aplicações de protecção contra a corrosão. Uma das mais curiosas é a que prevê o revestimento da querena dos navios com filmes de diamante, o que não só a protegeria da corrosão e da aderência de crustáceos, como também reduziria o atrito, com o consequente aumento da velocidade do navio [7].

Eliminar-se-iam assim os elevados custos de manutenção em doca seca, ao mesmo tempo que se reduziriam as despesas em combustíveis provenientes da redução dos tempos de viagem. Para se conseguirem estes objectivos é, no entanto, ainda necessário aguardar que sejam descobertos um processo muito barato de deposição e uma interface adequada entre o diamante e o ferro do casco. Outra aplicação interessante da passividade química do diamante é na construção de sensores semicondutores de temperatura susceptíveis de serem usados em ambientes extremamente agressivos [8].

Podemos ainda referir que as aplicações provavelmente mais importantes citadas neste breve resumo, muito incompleto, são as que dizem respeito à utilização dos filmes na indústria aero-espacial.

Os discos dos computadores dos aviões de combate e das naves espaciais podem ser protegidos do impacto súbito nas cabeças de leitura provocado por falhas de energia acidentais ou por acelerações bruscas. Nos aviões de combate as janelas de detecção de infra-vermelhos são em geral de Germanio e são muito sensíveis às colisões com as micropartículas atmosféricas e com as gotas de chuva, que causam a sua rápida deterioração. O revestimento de diamante não só as protege como também, devido ao seu índice de refração, melhora a sua transparência aos infra-vermelhos.

Também nos periscópios dos submarinos o revestimento, além de proteger a janela,

diminui o atrito entre ela e a água permitindo que as gotas escorram com muita facilidade, melhorando por isso grandemente a visibilidade.

Nestes, como noutros casos, os filmes têm de obedecer a parâmetros muito precisos de deposição, o que leva a que sejam desenvolvidas técnicas altamente sofisticadas de produção destes filmes, técnicas essas que, na maioria dos casos, são segredos militares muito bem guardados.

Na Tabela II apresenta-se uma síntese de algumas aplicações juntamente com as características a que o filme tem que obedecer para satisfazer a aplicação respectiva.

TABELA II — Aplicações e requisitos necessários dos filmes de diamante para essas aplicações.

Aplicação	Requisitos
Revestimentos decorativos.	Dureza, transparência no espectro visível. Filmes policristalinos de grão médio.
<i>Tribologia:</i>	
Ferramentas de corte. Rolamentos. Revestimento de discos de computadores.	Dureza, resistência à corrosão, inertes quimicamente. Filmes policristalinos de muito fraca espessura, (100 Å) e pequeno grão.
<i>Óptica:</i>	
Revestimentos protectores de janelas de IV. Revestimentos anti-reflexão para janelas de Ge. Janelas de Rx.	Índice de refração $\approx 2$ , resistência às radiações, transparência no espectro visível. Filmes policristalinos de grão fino.
Electrónica.	Dureza, resistência à corrosão. Filmes policristalinos.
Dissipadores do calor para dispositivos de potência. Circuitos impressos.	Como acima, com alta conductividade térmica.

## A produção e os custos dos filmes

Há muitos processos de produzir filmes de diamante. Até se consegue produzi-los com um vulgar maçarico oxi-acetilénico [9]. A questão

não está tanto na sua produção, mas sim na qualidade, condições e custo do filme depositado em relação com a sua possível aplicação específica.

O desenvolvimento de técnicas de deposição adequadas a cada uma das futuras aplicações, leva a que sejam dedicados grandes investimentos à investigação conducente à obtenção das referidas técnicas, na perspectiva da conquista dos importantes mercados futuros.

Os russos foram os primeiros a conseguir produzir filmes, mas actualmente são os japoneses que lideram esta tecnologia a fim de poderem controlar o mercado futuro de muitos milhões de dólares que se antevê.

A Tabela III mostra uma perspectiva de alguns mercados potenciais a nível mundial.

TABELA III — Selecção de alguns mercados potenciais para os filmes de diamante, a nível mundial.

	1988	1991	1996
	(Milhões de dólares)		
Altifalantes	12	40	50
Ferramentas de corte	15	70	160
Protecção de elementos ópticos	5	55	70
Discos de computadores	—	15	75
Semicondutores comerciais	—	20	600
Total	32	200	955

(Fonte: Advanced Materials & Processes, Vol. 136, 2, p. 13, 1989)

Actualmente são utilizados muitos métodos de deposição, mas todos eles se baseiam essencialmente na decomposição de um, ou mais, hidrocarbonetos gasosos ou, de um modo geral, de compostos orgânicos contendo carbono. A estes reagentes adicionam-se grandes quantidades de hidrogénio, e por vezes também oxigénio ou outros gases, cuja principal função, depois de ionizados, é impedir a formação de grafite em vez de diamante. A percentagem de hidrogénio na mistura gasosa é da ordem dos 98 % ou mesmo mais. Na Ref.<sup>a</sup> [10] é dada uma excelente síntese dos métodos de produção de filmes.

Grande parte da investigação experimental, a nível mundial, incide na definição da com-

posição exacta da mistura gasosa a utilizar, das condições de pressão e temperatura desses gases, da temperatura da superfície a revestir, e no desenvolvimento de modelos de nucleação e crescimento dos filmes. Deve notar-se que uma grande percentagem das investigações consiste em estudos mais ou menos empíricos, dado que subsistem ainda muitos mecanismos mal esclarecidos do ponto de vista teórico.

Outros problemas ainda por resolver, qualquer que seja o método utilizado, são a melhoria da adesão dos filmes a substratos de composição variada e o abaixamento das temperaturas de deposição, de tal modo que seja possível, por exemplo, revestir plásticos.

Todos os métodos de deposição estão, portanto, actualmente em fase de aturada investigação científica, a fim de melhorar a qualidade e baixar o custo dos filmes produzidos. Actualmente, esse custo excede largamente, na maioria dos casos, os 15.000\$00/ /carat em contraste com 150\$00/carat dos diamantes sintéticos industriais. O processo de ionização do hidrogénio, indispensável para haver formação de diamante, contribui em grande percentagem para esse custo.

No seu diagnóstico e caracterização utilizam-se também equipamentos extremamente caros e complexos. Além disso, torna-se necessária a colaboração de técnicos e cientistas altamente especializados, visto que a interpretação dos resultados das análises qualitativas e quantitativas do produto depositado, não é, de modo nenhum, trivial.

Refira-se, por fim, que o diamante não é o único material com um papel preponderante no futuro, quanto às aplicações acima descritas. De facto investigam-se hoje outros materiais que, eventualmente, poderão ter características ainda mais extraordinárias que o diamante. Um desses materiais é o nitreto de boro cúbico, c-BN, de propriedades semelhantes, em muitos aspectos, às do diamante. Essas investigação está, no entanto, ainda numa fase incipiente.

### A investigação possível em Portugal

Embora não possa haver qualquer pretensão de competitividade a nível de liderança

dos processos, seria possível, em princípio, fazer alguns estudos paramétricos de condições de deposição que contribuíssem para o esclarecimento de alguns aspectos, ainda obscuros, do seu mecanismo. Para isso poder-se-ia, por exemplo, utilizar um dos métodos já clássicos de deposição que consiste na decomposição do metano por um filamento aquecido a elevada temperatura; este método, representado esquematicamente na Fig. 2, é relativa-

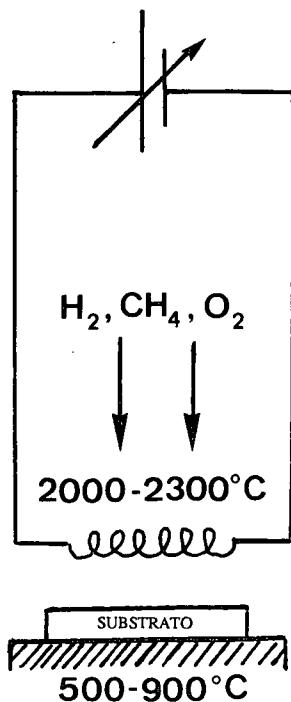


Fig. 2 — Esquema do método de deposição por filamento quente. Os gases reagentes são decompostos pelo filamento aquecido a elevada temperatura. O substrato pode ser aquecido directamente pelo próprio filamento, ou indirectamente por um aquecedor suplementar incorporado no porta-amostras.

Não está representado o sistema de vácuo.

mente barato, está bem estabelecido, e não é, na sua forma básica, muito complicado.

De facto, mesmo num método tão simples como este, há um número enorme de parâmetros relevantes que, em princípio, são susceptíveis de ser variados independentemente uns dos outros, de modo a otimizar as con-

dições de deposição. Segue-se uma lista de alguns desses parâmetros:

- A composição do filamento;
- O aquecimento do filamento; AC ou DC;
- A temperatura do filamento;
- A dimensão e geometria do filamento;
- A composição do substrato;
- A temperatura do substrato;
- A dimensão e geometria do substrato;
- A distância do filamento ao substrato;
- As pressões totais e parciais dos gases;
- A temperatura dos gases;
- O débito do fluxo dos gases;
- A geometria do fluxo dos gases;
- O gradiente de temperatura dos gases acima do substrato;
- O gradiente de temperatura dos gases junto do filamento;
- O grau de pureza dos gases;
- A utilização de hidrocarbonetos líquidos, em vez de gases;
- A polarização, ou não, do filamento em relação ao substrato.

A afirmação de que todos estes parâmetros são, na realidade, independentes é, na verdade, redundante. Um exemplo simples mostra que, de facto, assim é.

Consideremos, com efeito, o último parâmetro da listagem anterior. É óbvio que, mesmo sem polarização deliberada, há sempre uma queda de tensão ao longo do filamento que é proporcional ao seu comprimento. Assim uma das extremidades do filamento estará sempre mais polarizada que a outra em relação ao substrato e, conseqüentemente, deveria observar-se uma variação assimétrica na taxa de crescimento dos filmes, de acordo com os resultados da literatura que sustentam um aumento dessa taxa devida à polarização deliberada do filamento. Ora não há qualquer indício, mesmo muito ténue, que isso se verifique, o que põe em dúvida se o aumento da taxa de crescimento se deve efectivamente à polarização ou a outro efeito qualquer.

O que se passa é que qualquer alteração na polarização vai reflectir-se necessariamente na temperatura dos gases, nos gradientes de temperatura, na temperatura do filamento, etc.

Foram publicados resultados atribuindo aumentos de taxa de crescimento ao facto de haver polarização, tendo-se verificado posteriormente que esses aumentos eram devidos ao aumento de temperatura do substrato resultante de um efeito colateral.

Um outro método que seria interessante investigar, pela sua aparente simplicidade, é o método do maçarico oxi-acetilénico já referido e representando esquematicamente na Fig. 3.

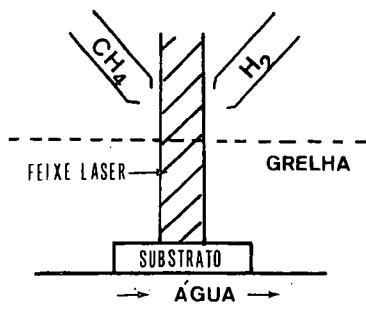


Fig. 3 — Desenho esquemático do método do maçarico oxi-acetilénico. A circulação de água controla a temperatura do substrato.

Em particular, no caso da Ref.<sup>a</sup> [9], um dos substratos utilizados é o TiN cujos estudos de deposição por LCVD (Laser induced Chemical Vapor Deposition) decorrem no Departamento de Física da FCL. Neste caso também seria possível um estudo paramétrico das condições de deposição.

Sobre as possibilidades de depositar filmes de diamante utilizando um laser é interessante mencionar um dos exemplos mais ilustrativos do que se descreveu atrás sobre a publicação precipitada de resultados científicos, pelo menos no que diz respeito a assuntos de grande impacto tecnológico.

Em 1986 foi anunciado que, pela primeira vez, se tinha conseguido o crescimento de filmes de diamante a partir da multifotoionização do acetileno com um laser excímero de ArF [11]. No entanto, num artigo posterior dois anos depois, um dos autores desmentiu esse facto invocando incorrecções na análise do produto depositado e apresentando desculpas formais à comunidade científica por a ter induzido em erro e levado à realização de

experiências sem qualquer probabilidade de êxito. O que acontece é que as energias exigidas para a deposição de diamante por multifotoionização teriam de situar-se várias ordens de grandeza acima dos valores utilizados na experiência inicial [12].

Ainda sobre as possibilidades de produzir diamante utilizando um laser, deve referir-se que elas são reais, e já foram fabricados diamantes sintéticos desse modo [1]. Mas esses métodos são, em rigor, métodos de altas pressões e temperaturas, baseados no diagrama de fases da Fig. 1, e não parecem ser aplicáveis à produção de revestimentos.

Uma experiência que seria interessante tentar consistiria em usar um esquema semelhante ao representado na Fig. 4. Aqui o laser serviria para aquecer tanto a grelha, que desempenharia o papel do filamento, como, simultaneamente, o substrato.

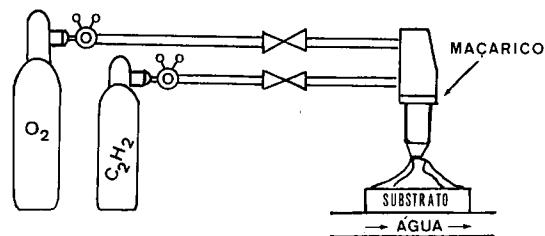


Fig. 4 — Sugestão de experiência utilizando um laser. A grelha desempenha um papel idêntico ao do filamento, na decomposição dos reagentes. O substrato é aquecido pelo feixe, após este atravessar a grelha, sendo a sua temperatura controlada pela circulação de água.

Tomando como modelo, por exemplo, o laser de CO<sub>2</sub> utilizado no equipamento de LCVD do Departamento de Física da FCL, o número de parâmetros que se poderiam variar seria também grande: potência do laser, funcionamento em contínuo ou pulsado, focalização e diâmetro do feixe, tempos de disparo, etc.

Quanto aos outros parâmetros, eles seriam idênticos aos referidos anteriormente para o método do filamento: material e malhagem da grelha, distâncias grelha-substrato, reagentes (produzem-se filmes utilizando álcool etílico e acetona), pressões e temperaturas, etc.

## Conclusões

Vê-se que há ainda muitas experiências simples a realizar antes de se poder tirar conclusões seguras acerca das potencialidades exactas destes e de muitos outros métodos, alguns dos quais se encontram já em fase de rotina de produção.

É evidente que qualquer estudo deste género em Portugal terá de ser conduzido no âmbito de um programa mais vasto de engenharia e tecnologia de superfícies, visto que, tanto os processos de produção como, e talvez principalmente, os métodos de diagnóstico e análise dos revestimentos, exigem grandes investimentos financeiros e humanos não compatíveis com acções isoladas, como aliás acontece actualmente com qualquer tipo de investigação científica, mesmo nos países mais desenvolvidos.

Tudo parece indicar, no entanto, que é também nesse sentido de cooperação que se caminha agora em Portugal.

## REFERÊNCIAS

- [1] EVERSOLE, W. G. — U. S. Patent No 3030187 (1958).
- [2] BROWNE, M. W. — *New York Times, Science*, (October 1988).
- [3] KOIDL, P. — *1st Int. Symp. on «Diamond and diamond-like films»*, Los Angeles, U. S., May 7-12 (1989).
- [4] LIU, A. Y. *et al.* — *Science*, **245**, p. 841 (1989).
- [5] ANTHONY, T. R. *et al.* — *Phys. Rev. B*, **42**, 2, p. 1104 (1990).
- [6] COLLINS, A. T. — E. M. R. S. Proceedings 1990 Fall Conference, Strasbourg, France, November 27-30 (1990).
- [7] YODER, M. N. — NATO ASI Proceedings, «Diamond and diamond-like films and coatings», Pisa, Italy, July 22 — August 4 (1990).
- [8] JONES, B. L. — E. M. R. S. Proceedings, Reg. [6].
- [9] HIROSE, Y. *et al.* — *J. Appl. Phys.*, **68** (12), p. 6401 (1990).
- [10] ANTHONY, T. R. — NATO ASI Proceedings, Ref. [7].
- [11] KATSUKI, K. *et al.* — *Appl. Phys. Lett.*, **41** (11), p. 634 (1986).
- [12] KATSUKI, K. — *Appl. Phys. Lett.*, **53** (19), p. 1812 (1988).
- [13] FEDOSEEV, D. V. *et al.* — *Carbon*, **21**, 3, p. 237 (1983).

## USO DO LABORATÓRIO DE ELECTRÓNICA NO ENSINO SECUNDÁRIO

A pedido da Comissão Redactorial da revista da Associação Italiana para o Ensino de Física «La Física Nella Scuola», inserimos a seguinte informação:

A revista «La Física Nella Scuola» dedicou o número especial de Abril-Junho 1990 a diversos aspectos ligados à utilização do Laboratório de Electrónica no Ensino Secundário:

- Investigação didáctica
- Simulação e Modelização
- O laboratório na investigação experimental
- Valorização do software
- O plano nacional de informática
- Exemplos de aplicação no ensino secundário
- Listagem do software existente
- Informação sobre experiências noutros países: Países Baixos, Alemanha e França

Este número especial, de 170 páginas (custo 10.000 Liras italianas), pode ser obtido de: Dr. Marisa Michelini, Dipartimento di Fisica, via Campi 213/A, 41100 Modena (Itália).

★

## Quotas da SPF

*Prezado sócio: se ainda não pagou as suas quotas para o ano de 1991, agradecemos que o faça o mais rapidamente possível junto da respectiva Delegação.*

*Assegurar-se desta forma melhores condições para o planeamento e expansão das actividades da Sociedade, bem como a recepção regular da Gazeta de Física.*

*Quotas: não estudantes ... 2000 Escudos  
estudantes ..... 750 Escudos*