
FABRICAÇÃO DE FIBRA ÓPTICA POLIMÉRICA COM EXTRUSÃO DO PMMA DOPADA COM GÁS DE FLÚOR ($\text{CF}_4 + \text{H}_2$ OU CHF_3) EM PLASMA DE BAIXA ENERGIA

José Roberto Soares*

Jan Vatauvuk**

Resumo

Os guias de onda fabricados a partir de material polimérico já são conhecidos há algum tempo. O presente trabalho propõe o desenvolvimento de um guia de onda produzido de monofilamentos capilares de PMMA (polimetacrilato de metila) com obtenção da casca pela modificação da superfície do PMMA, mediante dopagem em plasma de baixa energia com gás de flúor $\text{CF}_4 + \text{H}_2$ ou CHF_3 . O processo de obtenção da casca comumente adotado baseia-se na coextrusão com fluoropolímero. Foram realizados experimentos de extrusão do PMMA com caracterização física e eletro-ópticas do monofilamento, realizando-se na superfície dos melhores monofilamentos a deposição do plasma. O aprimoramento de caracterização óptica exigiu o desenvol-

* Mestre em Engenharia Elétrica e Telecomunicações pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Engenheiro Eletricista e Licenciado em Física/Química/Matemática pela Universidade de Mogi das Cruzes. Pós-graduação (*Lato Sensu*) em Didática do Ensino Superior, Engenharia de Software e Telecomunicações da Universidade São Judas Tadeu.

E-mail: zerobeto@mackenzie.com.br

** Professor Doutor em Engenharia dos Materiais.

E-mail: janvatauvuk@uol.com.br

vimento de processos de lixamento das pontas das “fibras”, otimizando as medidas diretas da atenuação e levantamento de curva de atenuação. Como aplicação da metodologia de fabricação de guia de onda, os resultados foram plenamente atingidos. Entretanto, a produção de um guia de onda com qualidade e valores de atenuação aceitáveis ultrapassa o escopo deste trabalho, ficando como compromisso de trabalhos futuros.

Abstract

Wave guides produced from polymeric material have already been known for a long time. This work deals with the development of wave guides based on a PMMA (polymethacrylate of metyl) core, with its cladding built through a modification of the PMMA surface, consisting on the application of fluorine gas CF_4+H_2 or CHF_3 in low energy plasma. The usual process for obtaining the cladding is the co-extrusion with fluoropolymer. Models for the PMMA extrusion process have been proposed, featuring the monofilament physic and electro-optic characteristics, and plasma has been deposited in the surface of the best monofilaments. Optic characterization called for better tip processes, which were developed, leading to improvements in the measuring of direct attenuation and the survey of attenuation curves. The application of these processes in the production of wave guides was fully satisfactory, and the objectives have been accomplished. However, since this is an introductory and experimental work, much is yet to be done if acceptable quality and attenuation values are to be obtained.

1 INTRODUÇÃO

A produção de fibras ópticas de sílica (FOS) ou de vidro com baixíssimos níveis de atenuação, inferiores a 0,2 dB/km (decibel por quilômetro), é amplamente pesquisada e difundida em telecomunicações. Entretanto, a produção dessas fibras FOS é de alta complexidade e restrita a poucos produtores internacionais. Além disso, também é pequena sua utilização em aplicações automobilísticas, em rede local de computadores, interligação multimídia doméstica tipo *fiber to the home (FTTH)*.

A pouca flexibilidade no manuseio, bem como a dificuldade nas conexões em razão de seu diâmetro muito reduzido (núcleo de 50 a 400 μm), aliado ao elevado custo de suas conexões, além da utilização de fontes de *laser* caras, constituem alguns obstáculos à difusão de seu uso em enlace de curta distância. Essas dificuldades restringem sua utilização a sistemas de longa distância, permitindo o incremento da utilização de fibras ópticas com base em polímeros.

As fibras ópticas poliméricas (FOPs) têm grande aplicabilidade na indústria automobilística, em aparelhos da área médica, em redes locais de escritórios, em ambientes industriais com muita indução eletromagnética, em sensores ópticos, em iluminação etc. Também é freqüente sua utilização doméstica (*FTTH*), pois são resistentes e duráveis, além de suficientemente flexíveis para aplicação em rotas de cabos convencionais nos quais existem curvaturas com raios bem acentuados. Encontram também boas características para utilização em ambientes úmidos. Outro fator a ser considerado é o relativamente baixo custo de desenvolvimento dos sistemas ópticos baseados nas fibras ópticas poliméricas.

De maneira geral, o polímero de utilização mais consagrada na atualidade para a fabricação de fibras ópticas poliméricas de baixo nível de atenuação, em relação a essa classe de materiais, é o PMMA (polimetacrilato de metila). Nas fibras ópticas poliméricas comerciais com base em núcleo de PMMA, a casca é produzida pelo método de coextrusão do núcleo com um polímero fluorado cujo índice de refração é ligeiramente inferior ao do PMMA puro.

Zubia e Arrue¹, numa retrospectiva histórica, referem-se à evolução das FOPs que atualmente congregam grandes esforços de pesquisa, na qual se propõe a substituição dos atuais pares metálicos das ligações de curta distância, com vantagens em termos de interferências induzidas e de baixo peso. As fibras ópticas poliméricas são fortes candidatas a constituir o elo de ligação entre as fibras de vidro de grande desempenho e instalações locais, seja em redes locais, seja em utilizações domésticas, seja na *Internet* de grande velocidade. As distâncias dessas redes geralmente ficam abaixo de um quilômetro. As FOPs produzidas com núcleo de PMMA transmitem

156 Mb/s (*megabits* por segundo) a uma distância da ordem de 100 metros. Taxas de transmissão de 500 Mb/s a uma distância de cinquenta metros já são possíveis com estes sistemas. As fibras fabricadas com polímero amorfo de perfluorurato, chamado CYTOP desenvolvido por Koike e Asahi Glass, apresentam menor atenuação que as FOPs comuns (< 30 dB/km), permitindo transmissão para distâncias maiores que um quilômetro com velocidade de 1.2 Gb/s/km. A Tabela 1 foi elaborada por Zubia e Arrue.

TABELA 1

Evolução histórica dos importantes marcos relatados para a FOP nos últimos trinta anos [Zubia 01]

Ano	Organização	Desenvolvimento
1968	Du Pont	Primeiro informe de núcleo-PMMA índice degrau FOP (500 dB/km a 650nm)
1972	Toray	Núcleo de Poly(styrene) índice degrau (SI) FOP.
1981	NTT	Baixa atenuação de núcleo-PMMA SI POF (55 dB/km)
1982	Keio Univ/NTT	Índice gradual (GI) FOP(1070 dB/km a 670 nm) e SI FOP(20dB/km a 650 nm)
1983	Mitsubishi Rayon	Núcleo-PMMA SI FOP "ESKA" (110 dB/km a 570nm)
1987	France	Foi criado French Plastic Optical Fiber (FOP) Club
1990	Keio Univ.	Alta velocidade de transmissão GI FOP base PMMA (300MHz km a 670 nm)
1991	Hoechst Celanese	Núcleo PMMA SI POF "INFOLITE" (130 dB/km a 650 nm)
1992	Keio Univ.	Perdeuterato PMMA base GI POF (55 dB/km a 688 nm)
1993	Essex Univ.	531 Mb/s 100m transmissão por núcleo-PMMA com equalizador de circuito
1994	USA, Japão e outros	Consórcio High Speed FOP Network (HSPN) foi criado nos EEUU; criado consórcio FOP no Japão; 1.0 Gb/s 30m transmissão por PMMA GI FOP e VCSEL vermelho a 670 nm; 2.5 Gb/s 100m transmissão a 650 nm por PMMA base GI FOP; Multi-núcleo SI FOP para transmissão em alta velocidade de dados
1995	Mit. Rayon, NEC	156 Mb/s 100 m transmissão SI FOP e alta velocidade por LED vermelho
1996	Keio, KAST	Primeiro perfluorurato (PF) base polimérica GI FOP para 1.3 μ m (50 dB/km)
1997	POF Consortium Japan	Padronização de ATM LAN (156 Mb/s 50m link SI FOP) no ATM Fórum padronização do IEEE 1394
1998	COBRA e outros	Transmissão a 2.5 Gb/s 300m PF base GI POF a 645nm e transmissão 500 Mb/s 50 m GI FOP LED rápido (RC-LED; 650 nm)
1999	COBRA e outros	Transmissão a 2.5 Gb/s 500m PF base GI POF a 840 e 1310 nm; transmissão 7 Gb/s 80 m GI FOP 950 nm; 11 Gb/s transmissão de dados a 100m PF base GI FOP a 830 nm e 1310 nm
2000	Asahi Glass	GI FOP (Lucina) com atenuação de 16 dB a 1300 nm e 569 MHz*km

Nota: SI, índice degrau; PMMA, polimetilmetacrilato de metila; PS, poliestireno; PF, perfluorurato

O padrão IEEE 1394, aprovado em 1995, define uma interface serial de alta velocidade para aplicação doméstica da FOP. O padrão define três velocidades 100Mbps, 200Mbps e 400Mbps. O comitê 1394b trabalhou na definição de interfaces utilizando fibra plástica. Para distâncias menores que 100 m e velocidades abaixo de 200 Mbps, é padronizada a FOP índice degrau (*step index*). Para velocidades maiores que 400 Mbps, são recomendadas fibras ópticas poliméricas índice gradual (*graded*

$index)^2$. Para visualizar a concepção do ambiente doméstico no qual os diversos equipamentos estão interligados, visite o site www.pofeska.com/pofeskae/tece/homenet1e/homenet1e.htm.

A figura 1 traz um comparativo dimensional entre as FOPs e as fibras de vidro. As FOPs normalmente têm núcleo de 980 μm de diâmetro e casca de 10 μm de espessura resultando num diâmetro da ordem de 1.000 μm e são do tipo multimodo. A capa de proteção de polietileno (PET) faz com que o diâmetro total da fibra seja da ordem de 2.200 μm .

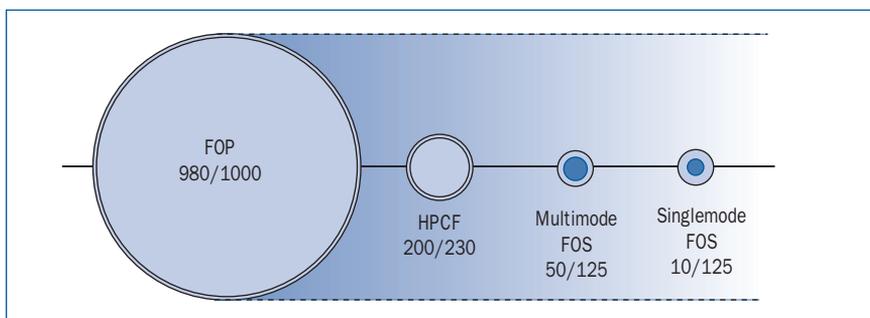


Figura 1 Comparação entre fibra de plástico e fibra de vidro [Mitsubishi 02]

O exame da figura acima indica a expressiva diferença dimensional entre as fibras à base de sílica e aquelas que empregam o polímero na sua fabricação.

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia para a fabricação de guias poliméricos de onda por meio de extrusão do polimetacrilato de metila (ou, como é conhecido, PMMA) – o acrílico transparente, que será usado como núcleo do guia de onda. Para a realização da casca (*cladding, sheath*), é efetuada a modificação da superfície do próprio PMMA pela aplicação de plasma de baixa energia com gases $\text{CF}_4 + \text{H}_2$ ou CHF_3 . A espessura desejada da casca é da ordem de 2% da dimensão total da fibra. Os resultados obtidos serão discutidos à luz dos valores em termos de propriedades ópticas típicos de fibras ópticas poliméricas comerciais.

2 TÉCNICA EXPERIMENTAL

A metodologia empregada na fabricação de fibras ópticas poliméricas deste estudo envolveu três fases distintas:

2.1 Fabricação de monofilamento

Esta fase consiste no desenvolvimento do processo de preparo do polímero (PMMA) nos aspectos limpeza, secagem, desumidificação e a extrusão do monofilamento cilíndrico ou plano. A produção dos monofilamentos foi realizada utilizando uma Extrusora HAAKE 5000 pertencente ao Laboratório de Ensaio de Materiais do Mackenzie. O polímero utilizado no processo de fabricação é o PMMA produzido pela Resarbras, sendo o mais indicado para o processo de extrusão o DH ECL EX granulado Baixa Fluidex e Alto Peso Molecular. A Figura 2 mostra detalhe da extrusora empregada.



Figura 2 Vista geral da extrusora empregada neste estudo

O processo de extrusão compreende um pré-aquecimento do módulo extrusor, o qual contém quatro seções: cilindro alimentador, seção de plastificação, seção de homogeneização, e por último, o cabeçote extrusor. Cada seção tem faixas de temperaturas empregadas para a correta extrusão do PMMA (sugeridas pelo fabricante do polímero), sendo 190°C a 210°C para o cilindro de alimentação; 210°C a 245°C para o processo de plastificação; 200°C a 235°C na homogeneização; 210°C a 240°C no cabeçote extrusor.

2.2 Modificação da superfície do monofilamento

Consiste no desenvolvimento do processo de formação da casca da fibra (*cladding*). Para tanto, utiliza-se equipamento a vácuo, no qual se aplica o plasma de $\text{CF}_4 + \text{H}_2$ ou CHF_3 , no processo de polimerização e modificação da superfície do monofilamento de PMMA obtendo-se um flúor polímero. A Figura 3 apresenta o reator utilizado na pesquisa tendo no seu topo conjunto dos pratos por meio do qual se aplica o plasma.



Figura 3 Reator por processamento de plasma, com porta amostra visto no topo – Laboratório de Microeletrônica da Universidade de São Paulo

A Figura 4 diz respeito ao processo de aplicação do plasma de baixa energia e corresponde à imagem concomitante à aplicação do plasma nas fibras de PMMA.

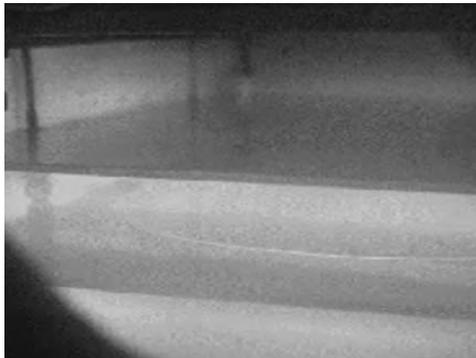


Figura 4 Nuvem plasma ativo com o segmento de polímero instalado – [LME/USP]

2.3 Caracterização eletro-óptica da fibra

Nesta fase se desenvolvem os processos de medidas da eficiência da fibra quanto à atenuação (dB/km), sua abertura numérica (NA) e características físicas, tais como análise gravimétrica, dimensional, além de inspeção da fibra em microscópio óptico. Esse processo de caracterização é realizado em dois momentos, *antes e depois* da “aplicação do flúor”, com o objetivo de verificar a transformação ou não do monofilamento em guia de onda efetivo e de ser considerado fibra óptica polimérica. A Figura 5 mostra a bancada óptica utilizada para medições de atenuação e abertura numérica do material produzido.



Figura 5 Bancada óptica NewPort do Laboratório de Comunicações ópticas do Mackenzie

A curva de atenuação obtida para caracterização da fibra óptica é expressa em decibéis por quilômetro (dB/km). Fez-se uso do aparelho FEMTO espectrofotômetro para análise do espectro da FOP e levantamento das curvas características de atenuação de FOP de mercado e as “fibras” produzidas neste estudo.

O aparelho da Figura 6 FEMTO 600 pertence ao laboratório de Química da Universidade Presbiteriana Mackenzie.



Figura 6 Espectrofotômetro fabricado pela FEMTO 600. (Laboratório Químico Mackenzie)

Neste estudo, a análise é realizada utilizando a escala de transmitância. Utilizou-se o espectro de luz visível na faixa de 400 nm até 780 nm. A Figura 7 mostra o detalhe de adaptação da fibra no aparelho.

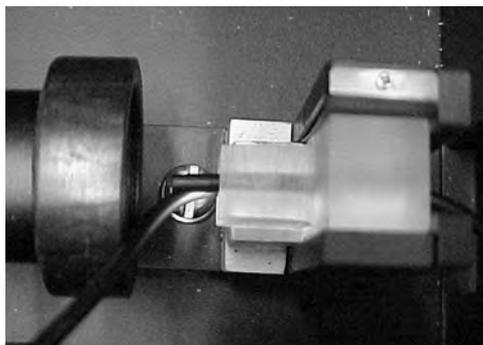


Figura 7 Foto da fibra adaptada ao dispositivo e este no suporte de cubeta. Observa-se uma das extremidades expostas ao detector. A outra extremidade está encoberta pela fibra que entra no dispositivo. A luz observada é a luz emitida pelo aparelho quando este está zerado

A Figura 8 mostra o efeito da variação do comprimento de onda utilizado na cor transmitida pela fibra.

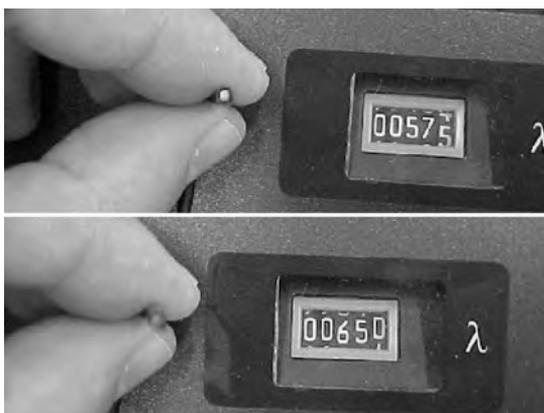


Figura 8 Foto da fibra emitindo luz conforme os comprimentos de onda. A cor verde é emitida no comprimento de onda 570 nm e a cor vermelha 650 nm

O exame da figura anterior indica a relação entre o comprimento de onda e a cor resultante.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As determinações das curvas características de atenuação das fibras importadas por meio da metodologia desenvolvida podem ser inferidas mediante análise da Figura 9 a seguir.

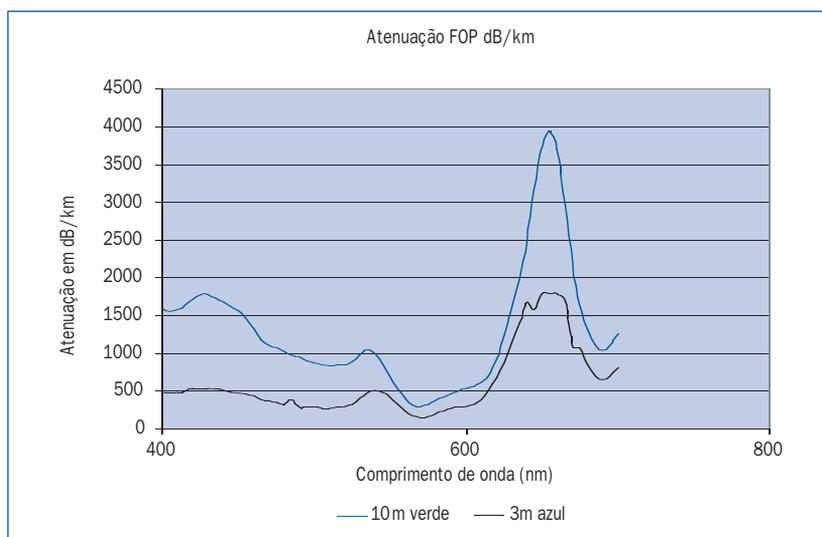


Figura 9 Gráfico Modelo de Medida do espectro de Atenuação em dB/km das fibras Eska Super e TORAY

O exame da figura acima indica as janelas de transmissão para os dois fabricantes de fibras.

Apesar das tentativas de obtenção de monofilamento com baixo nível de defeito, a presença de bolhas em seu interior não conseguiu ser completamente evitada, mesmo após prolongado período de secagem em estufa, com períodos de tempo superiores a oito horas. Esse fato constitui uma prova da grande afinidade que o polímero tem em absorver qualquer umidade, e que a absorção desta em seu interior provoca imediata vaporização com apreciável expansão volumétrica em função da temperatura de extrusão, muito superior à vaporização da água. A eliminação total des-

sas bolhas só é possível com o emprego de polímero puro e a inserção de um filtro de tela em posição anterior ao cabeçote extrusor. Essa tecnologia não estava disponível por ocasião do desenvolvimento do presente trabalho.

O critério adotado para dar continuidade ao trabalho foi o de estabelecer um processo seletivo no que se refere à escolha dos melhores monofilamentos produzidos. Esses segmentos foram, em uma primeira etapa, selecionados visualmente. Um fato de suma importância observado neste estudo é que mesmo os melhores monofilamentos, em nível visual, não apresentavam comportamento satisfatório nos testes conduzidos na bancada óptica. Tornou-se, portanto, necessária a continuidade da seleção dos monofilamentos, agora por meio da banca óptica como critério de aceitação para ser submetido ao tratamento com plasma.

Os monofilamentos que apresentaram menor atenuação, como já mencionado anteriormente, foram submetidos às condições otimizadas no reator a plasma. Uma das preocupações deste estudo foi o de produzir monofilamentos de diferentes diâmetros, com o objetivo de avaliar o efeito da seção transversal na eficiência. O critério adotado foi baseado nas relações entre a dimensão da casca e do núcleo, determinada metalograficamente em fibra óptica polimérica comercial, sendo de 980 μm de diâmetro para o núcleo e 10 μm de espessura para a casca.

Para variar o diâmetro das fibras, adotou-se a seguinte metodologia: uma corrida foi produzida com o bico extrusor de 1,0 mm, que originou os lotes numerados D01 ao D07. Em uma segunda corrida, utilizou-se um bico extrusor de 1,5 mm, identificados os lotes gerados como C01 ao C10.

Nas duas corridas, variou-se a velocidade da extrusora e do tracionador montado no final da calha de resfriamento como artifício para obter monofilamentos com diâmetros variados.

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados de atenuação antes e após a aplicação do plasma baseado no gás $\text{CF}_4 + \text{H}_2$.

TABELA 2

 Resultados de atenuação do Lote C10 submetido ao gás $CF_4 + H_2$

Amostra	Comprimento (cm)	Diâmetro médio (μm)	Potência transmitida (uW) antes	Atenuação (dB/cm) antes	Potência transmitida (uW) depois	Atenuação (dB/cm) depois	Pressão e potência utilizadas (Torr/W)
1	39,9	787	15,6	0,63	73,0	0,40	2/120
2	40,9	865	13,0	0,63	Perdida		2/90
3	42	730	16,0	0,59	57,5	0,40	1,5/90
4	43,1	805	17,0	0,57	52,4	0,40	1/120
5	44	855	14,5	0,57	Perdida		1/60

Reator PECVD (*Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition*) durante 2 minutos.

Utilizados 10 sccm de CF_4 e 10 sccm de H_2 à temperatura ambiente.

Potência do *laser* (referência antes da dopagem) 5,0 mW.

Potência do *laser* (referência depois da dopagem) 2,91 mW.

As amostras 2 e 5 foram perdidas no processo de dopagem (aquecimento e deformação).

TABELA 3

 Resultados de atenuação do Lote D06 submetido ao gás $CF_4 + H_2$

Amostra	Comprimento (cm)	Diâmetro médio (μm)	Potência transmitida (uW) antes	Atenuação (dB/cm) antes	Potência transmitida (uW) depois	Atenuação (dB/cm) depois	Pressão e potência utilizadas (Torr/W)
1	38,7	452	3,75	0,80	52,7	0,45	2/120
2	41	432	5,3	0,72	55,0	0,43	2/60
3	41,5	435	3,8	0,75	44,4	0,45	1,5/90
4	43,1	447	2,25	0,77	15,7	0,54	1/120
5	44,8	455	3,9	0,69	27,3	0,47	1/60

Reator PECVD (*Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition*) durante 2 minutos.

Utilizados 10 sccm de CF_4 e 10 sccm de H_2 à temperatura ambiente.

Potência do *laser* (referência) 5,0 mW.

Potência do *laser* (referência depois da dopagem) 2,91 mW.

Os resultados contidos nas Tabelas 2 e 3 mostram que os valores de atenuação sofreram redução após a aplicação do plasma nos monofilamentos. Não se observa também nenhuma variação sistemática que possa ser atribuída aos diferentes diâmetros tratados.

Buscando-se otimizar as condições de tratamento ao plasma, foram conduzidos alguns experimentos mudando o gás de $CF_4 + H_2$ para CHF_3 . Esses resultados podem ser vistos nas Tabelas 4 e 5.

TABELA 4

Resultados de atenuação do Lote C05 submetido ao gás CHF₃

Amostra	Comprimento (cm)	Diâmetro médio (μm)	Potência transmitida (μW) antes	Atenuação (dB/cm) antes	Potência transmitida (μW) depois	Atenuação (dB/cm) depois	Pressão e potência utilizadas (Torr/W)
1	40/37,4	825	0,34	0,92	22,0	0,62	0,5/10
2	41	870	0,16	0,98	12,4	0,58	1,5/10
3	42	805	0,20	0,93	17,7	0,53	1,0/30
4	43	844	0,19	0,92	12,3	0,55	0,5/50
5	44	825	0,11	0,95	24,5	0,47	1,5/50

Reator de corrosão durante 2 minutos. Utilizados 50 sccm de CHF₃ à temperatura ambiente.

Potência do *laser* (referência antes da dopagem) 1,7 mW.

Potência do *laser* (referência depois da dopagem) 2,91 mW.

Nota: na amostra 2 o plasma não acendeu visivelmente e as amostras 3 e 4 deformaram ou amoleceram.

TABELA 5

Resultados de atenuação do Lote C08 submetido ao gás CHF₃

Amostra	Comprimento (cm)	Diâmetro médio (μm)	Potência transmitida (μW) antes	Atenuação (dB/cm) antes	Potência transmitida (μW) depois	Atenuação (dB/cm) depois	Pressão e potência utilizadas (Torr/W)
1	40	547	1,60	0,75	perdida	-	0,5/10
2	41	502	0,68	0,83	perdida	-	1,5/10
3	42	452	0,75	0,79	33,2	0,46	1,0/30
4	43	455	1,25	0,72	20,2	0,50	0,5/50
5	44	442	1,05	0,73	perdida	-	1,5/50

Reator de corrosão durante 2 minutos. Utilizados 50 sccm de CHF₃ à temperatura ambiente.

Potência do *laser* (referência antes da dopagem) 1,7 mW.

Potência do *laser* (referência depois da dopagem) 2,91 mW.

Nota: na amostra 2 o plasma não acendeu visivelmente e as amostras 1,4 e 5 deformaram ou amoleceram.

O exame das Tabelas 4 e 5 indica, mais uma vez, uma ação do tratamento em relação à capacidade de condução de luz dos monofilamentos estudados.

O comportamento observado nas duas condições de plasma coloca uma questão conceitual com relação ao efeito desse tratamento na superfície do polímero. Caso o elemento químico flúor seja inserido na superfície do polímero, estudos anteriores indicam que a profundidade tratada deve permanecer muito pequena se comparada à seção transversal da fibra. Essa foi uma das motivações para a redução do diâmetro dos monofilamentos neste estudo. Vale, no entanto, salientar que, mesmo nos filamentos de menor diâmetro, não se observam diferenças sensíveis na eficiência da deposição por plasma na transmissão de luz, o que pode estar relacionado a

uma espessura tratada de tal ordem inferior ao diâmetro do núcleo que a variação de diâmetro não pode ser percebida.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conjunto de resultados obtidos no presente estudo permite concluir que os processos desenvolvidos para caracterizar a fibra óptica polimérica, quanto à construção da curva de atenuação, medição do núcleo e casca, mostraram-se plenamente satisfatórios, uma vez que foram utilizadas fibras consagradas de mercado e os resultados confrontados com a literatura foram positivos.

Os processos de caracterização de atenuação em bancada óptica do monofilamento, inclusive o processo de lixamento das pontas, mostraram-se satisfatórios, dada a repetibilidade dos resultados alcançados nas amostras estudadas.

O processo de extrusão do monofilamento de PMMA foi realizado com êxito. A qualidade das amostras produzidas não atendeu a requisitos mínimos em termos de atenuação, visto que os melhores monofilamentos selecionados visualmente não transmitiram luz de forma satisfatória.

A aplicação do plasma baseado nos gases $CF_4 + H_2$ indicou uma redução de atenuação nos sistemas estudados. A mudança dos gases $CF_4 + H_2$ para o gás CHF_3 não aumentou a eficiência da aplicação para redução da atenuação dos monofilamentos estudados.

REFERÊNCIAS

1. KOIKE, Y. *POF – From the past to the future*. International Conference on POF & Applications, v. 7, 1998, Berlin. *Proceedings...* Berlin: International Committee of POF (ICPOF) (Chairman: Yasuhiro Koike), p. 1-8, 1998.
2. MITSUBISHI RAYON. Mitsubishi Payon POF Series. Disponíveis em <www.mrc.co.jp> e <www.pofeska.com/pfeskae/tece>. Acesso em 15/02/2005.
3. ZUBIA, J.; ARRUE, J. Plastic optical fibers: an introduction to their technological processes and applications. *Optic Fiber Technology*, v. 7, n. 2, p. 101-140, 2001.

