

8 Polarização eletrotérmica de fibras ópticas especiais

8.1. Introdução

Vários grupos têm pesquisado formas de induzir em fibras ópticas não-linearidade de segunda ordem com um alto coeficiente não-linear, com o objetivo de construir dispositivos eletro-ópticos como, por exemplo, um modulador eletro-óptico.

Neste capítulo, descreve-se a construção de um dispositivo (fibra especial com eletrodos inseridos) a fibra e uma montagem para polarizar eletrotermicamente fibras ópticas especiais com o propósito de induzir uma não-linearidade de segunda ordem nestas fibras. As fibras especiais utilizadas tinham dois buracos, com o núcleo posicionado entre eles, nos quais eram inseridos eletrodos. A grande vantagem desta configuração da fibra era a proximidade ao núcleo dos eletrodos inseridos na fibra, possibilitando a aplicação de altos campos elétricos sem risco de ruptura dielétrica.

São discutidos neste capítulo: a geometria das fibras especiais usadas, o procedimento para a construção de um dispositivo a fibra óptica, a inserção de eletrodos e polimento da fibra na seção 8.3, a montagem e o procedimento para a polarização eletrotérmica da fibra na seção 8.4, a resposta óptica à tensão aplicada a fibras especiais com eletrodos inseridos na seção 8.5 e a escrita de redes de Bragg em fibras especiais com e sem eletrodos inseridos na seção 8.6.

8.2 Fibras especiais usadas

As fibras utilizadas, F020523-8 e F030402-1F, fornecidas pela ACREO-Suécia, têm as geometrias mostradas nas figuras 77 e 78 respectivamente. As fibras eram dopadas com germânio e tinham o diâmetro de 125 μm . O diâmetro do núcleo da fibra F020523-8, figura 77, era de 10 μm e de cada buraco era de 30

μm ; a distância entre os buracos era de $18 \mu\text{m}$. O diâmetro do núcleo da fibra F030402-1F, figura 78, era de $4,3 \mu\text{m}$. A distância entre o núcleo e o buraco mais próximo era de $4 \mu\text{m}$ (borda a borda). A fibra tem uma perda de $2,5 \text{ dB/cm}$ com o metal inserido nos buracos e de $0,4 \text{ dB/m}$ sem metal. A diferença de índice entre o núcleo e a casca era de $0,015$.



Figura 77 - Fibra F020523-8. Casca de sílica fundida. Distância núcleo-buraco $18 \mu\text{m}$. Diâmetro do buraco $30 \mu\text{m}$. Diâmetro do núcleo $10 \mu\text{m}$.

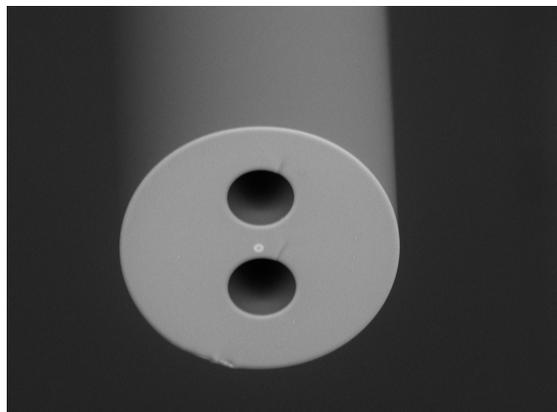


Figura 78 - Fibra F030402-1F. Casca de sílica fundida. Diâmetro do núcleo $4,3 \mu\text{m}$. Distância entre o núcleo e o buraco mais perto $4 \mu\text{m}$.

8.3. Dispositivo de fibra óptica

Para a polarização térmica das fibras foi desenvolvido um dispositivo com as fibras especiais, que consistia de fibras especiais com eletrodos inseridos nos

buracos para serem utilizados na polarização térmica. Os passos para a construção dos dispositivos são descritos a seguir:

1. Eletrodos metálicos eram inseridos na fibra (como é descrito na seção 8.3.1).

2. A continuidade dos eletrodos inseridos era verificada em um microscópio óptico.

3. A fim de se acessar os eletrodos na fibra para se fazer contatos, a fibra era lixada, utilizando uma máquina de polir (figura 79), em dois pontos opostos separados por aproximadamente 5 cm (seção 8.3.1). Durante o polimento muitas fibras partiam, sendo necessário fazer diversas tentativas. O polimento era acompanhado com a observação no microscópio.

A máquina de polir (Fokine et al., 2002), figura 79, consta de uma roda de PVC de 6 cm de diâmetro, coberta ao redor de sua espessura com um papel de lixa d'água (400). A fibra a ser polida é fixada no posicionador da máquina. Um motor de 30 rpm faz girar a roda sobre a fibra posicionada. Para controlar a velocidade da roda foi adaptado um potenciômetro. O peso no braço da máquina permite equilibrar a roda de forma a não quebrar a fibra enquanto a mesma é lixada lentamente. A manivela permite o deslocamento da fibra no posicionador.

4. Uma vez feitos os buracos para acessar os eletrodos (Figura 80), fios finos (0,5 mm de diâmetro) de cobre eram conectados aos eletrodos com tinta de prata condutora, como é mostrado na figura 81. Estes fios de cobre foram utilizados para a conexão com a fonte de alta tensão durante a polarização.

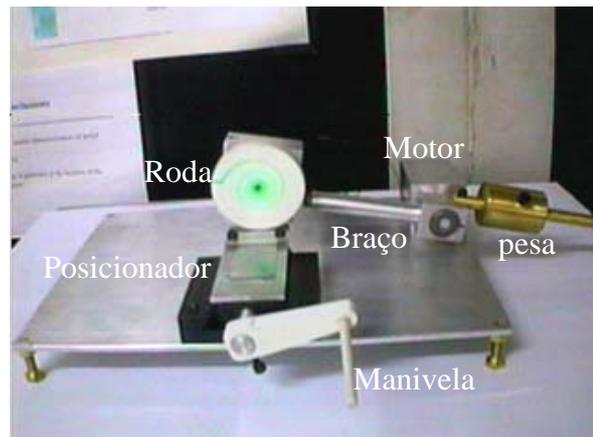


Figura 79 - Máquina de polir fibra. Construída no laboratório de Opto-eletrônica (PUC-Rio).

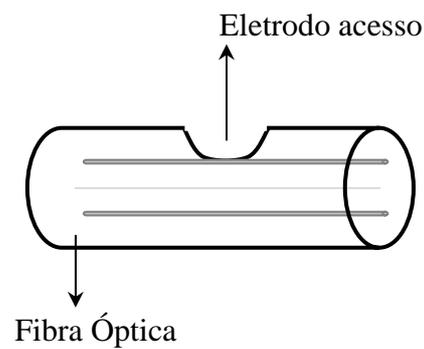


Figura 80 - A figura mostra como é o acesso ao eletrodo depois de se ter lixado em um ponto da fibra.

5. A fibra com os eletrodos inseridos, e os contatos de fio de cobre posicionados, era colada em uma placa de vidro “soda lime” (figura 81). Para evitar a condução elétrica da placa de “soda lime”, esta era colocada sobre fita isolante disposta sobre uma região de uma chapa quente utilizada para efetuar a polarização eletrotérmica da fibra.

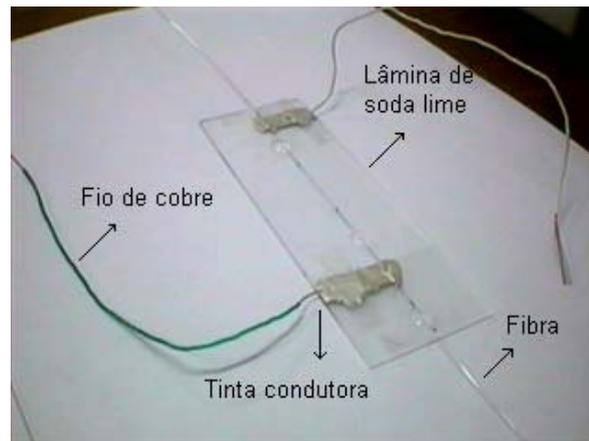


Figura 81 - Dispositivo pronto para ser polarizado. Os fios de cobre fazem contato com os eletrodos através da tinta condutora.

8.3.1. Inserção de eletrodos

A técnica de inserção de eletrodos consistia em inserir metal fundido dentro dos buracos da fibra especial. Após o resfriamento, o metal solidificava dentro da fibra. Desta forma, era desejável utilizar uma liga metálica com ponto de fusão abaixo da temperatura de polarização.

A liga utilizada inicialmente foi de 40% chumbo (Pb) e 60% estanho (Sn), PbSn, cuja temperatura de fusão era de 180°C. Como o revestimento de acrílico da fibra derretia a esta temperatura, decidiu-se testar uma liga com temperatura de fusão mais baixa. Com este propósito, foi utilizada uma liga de 57% bismuto (Bi) e 43% estanho (Sn), BiSn. A temperatura de fusão desta liga era de 137°C, permitindo manter intacto o revestimento primário de acrílico da fibra durante o processo de inserção dos eletrodos.

O procedimento de inserção dos eletrodos provenientes das ligas metálicas usados é descrito a seguir:

Para inserir os eletrodos era preciso levar a liga metálica a seu estado líquido. Com este propósito, o metal sólido era colocado dentro de uma célula ou câmara de pressão com um orifício lateral que permitiria posteriormente a entrada de ar comprimido (figura 82). O conjunto era colocado sobre uma resistência conectada a uma fonte de tensão e posicionada dentro de um forno como mostra a figura 83. A liga era, então, aquecida aplicando uma tensão de 75 V a 80 V e a temperatura de aquecimento era controlada utilizando um termopar. Enquanto a

liga aquecia, a fibra era passada através de um orifício de um parafuso que fixaria a fibra em um orifício da tampa da célula de pressão (figura 84). Neste orifício era incrustado um pequeno pedaço de teflon com forma de cone, para manter fixa a fibra, onde dois pequenos orifícios tinham sido feitos para a entrada do pedaço de fibra que ficaria dentro da célula. Quando a liga atingia seu estado líquido a célula era tampada e a parte da fibra no interior da célula era colocada muito perto da liga líquida e posteriormente fixada nesta posição.

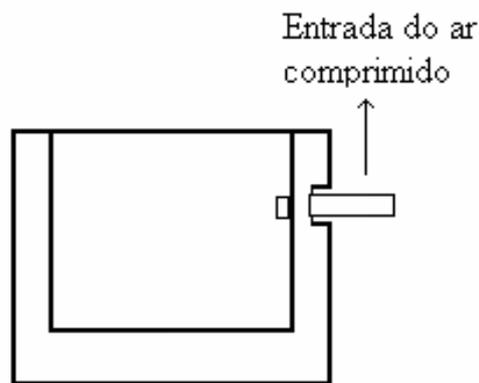


Figura 82 - Vista frontal da câmara de pressão utilizada para a inserção de eletrodos nas fibras especiais.



Figura 83 - Forno com a célula de pressão e a fibra em seu interior. Na direita a fonte conectada à resistência para aquecer a liga.

Com todo o sistema pronto, o forno era ligado e programado a uma temperatura de aproximadamente 160°C. A temperatura dentro do forno era homogênea e deixava-se entrar ar comprimido através de uma mangueira conectada na parte superior do forno. Quando o termômetro indicava a temperatura programada, era permitido que o ar comprimido (pressão 7 bars) entrasse na célula de pressão para empurrar a liga líquida dentro dos buracos da fibra. O comprimento da fibra dentro do forno correspondia ao comprimento do metal inserido dentro da fibra. Depois de verificar que a liga tinha subido pelos buracos da fibra até a parte superior do forno, o ar comprimido era desligado.

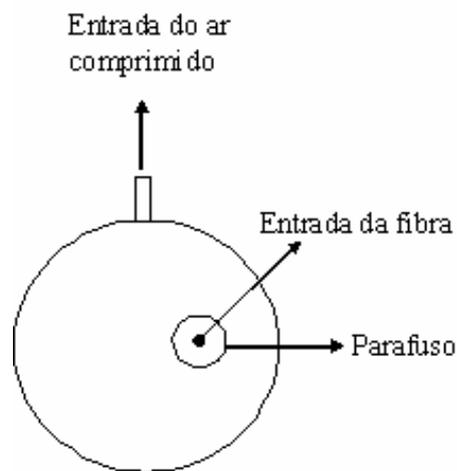


Figura 84 - Vista superior da câmara de pressão. O parafuso possui um orifício por onde é introduzida a parte da fibra a ser posicionada dentro da célula de pressão.

O extremo da fibra no interior da célula era deslocado do metal líquido, mas este extremo permanecia dentro da câmara de pressão. Depois deste procedimento, o conjunto era aquecido novamente, como foi descrito acima, até atingir a temperatura de 160°C, na qual o ar comprimido era de novo injetado na célula, para liberar o extremo da fibra do metal inserido. Os extremos da fibra deviam estar liberados do metal a fim de facilitar posteriores emendas com outras fibras. Desta forma, evitava-se que, ao se tentar emendar uma fibra com outra sem ter os extremos liberados do metal inserido, a alta temperatura no arco da fusão da máquina de emenda evaporasse o metal e destruísse a emenda. Para liberar o extremo da fibra do metal líquido era inserido mais fibra dentro do forno, assim a liga metálica podia se deslocar. O comprimento de fibra adicionado correspondia

ao comprimento liberado de metal. Para terminar o procedimento de inserção de eletrodos, era liberado o parafuso (figura 84) que fixava a fibra no interior da célula e a fibra era puxada do extremo situado fora na parte superior do forno de forma lenta para evitar descontinuidades nos eletrodos. O tempo utilizado para inserir os eletrodos depende do tamanho do buraco, tipo de liga, temperatura e pressão. A fibra com os eletrodos inseridos era observada com um microscópio para determinar quais intervalos dos eletrodos eram contínuos e adequados para o dispositivo. A figura 85 mostra a fibra especial F020523-8 com eletrodos inseridos. Esta imagem foi obtida em um microscópio óptico dos laboratórios do DCMM (PUC-Rio).

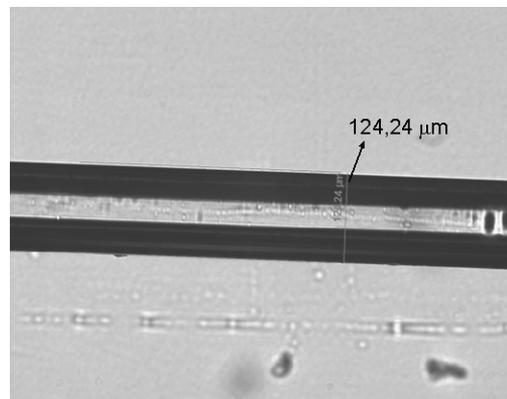


Figura 85 - Fibra sem revestimento com dois eletrodos inseridos.

Para não aquecer a fibra, a qual fica danificada com o calor ao qual é submetida ao inserir eletrodos metálicos no estado líquido, uma outra técnica de inserção de eletrodos em fibras foi também utilizada. Foram, então, usados como eletrodos, fios finos sólidos de tungstênio chapeados em ouro de 20 μm de diâmetro (*Solid Gold Plated Tungsten Wires* - LUMA-METALL. A densidade destes fios era de 1,20 mg / 200 mm. O ponto de fusão do tungstênio é de 3410°C o qual é muito importante porque o eletrodo deste material, não funde na temperatura de polarização ($\sim 280^\circ\text{C}$). A resistividade do fio de tungstênio é 0.055 Ω (para uma densidade de mg / 200 mm a 20°C). Os fios foram inseridos na fibra F030402-1F usando uma técnica especial.

Para a inserção de fios nesta fibra foram polidas duas pequenas regiões opostas da fibra separadas aproximadamente por 5 cm. Para inserir os fios sem

quebrar a fibra foi usada uma pinça protegida em seus extremos com fita teflon. Com ajuda da pinça o fio era dirigido à entrada de uma das regiões polidas da fibra. O fio devia permanecer reto, caso contrário era impossível inseri-lo. Um pedaço de material de luva descartável era colocada em um dos extremos da pinça para empurrar muito suave e devagar o fio ao interior da fibra. Uma pequena parte do fio era deixada fora da fibra para ser soldada, com tinta condutora de prata, a um fio de cobre para prover o contato do dispositivo com a fonte de alta tensão.

8.4

Montagem e procedimento para a polarização eletrotérmica de fibra óptica

A montagem para a polarização do dispositivo a fibra é mostrada na figura 86:

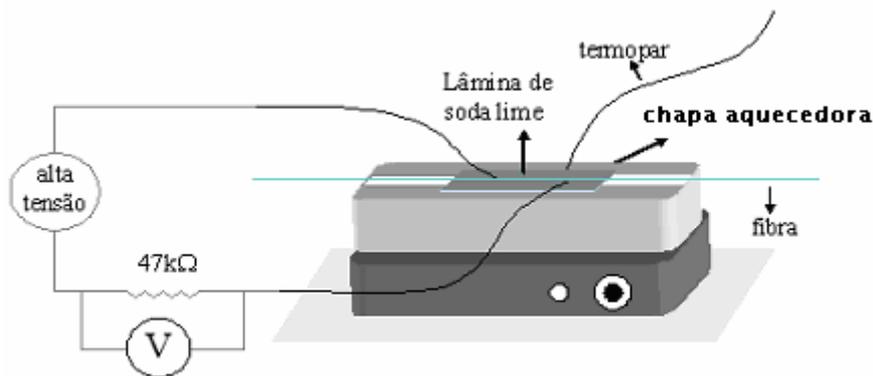


Figura 86 - Montagem para a polarização do dispositivo a fibra. O dispositivo a fibra sobre a superfície da chapa aquecedora. O termopar permite acompanhar a temperatura atingida pelo dispositivo. Os eletrodos da fibra estão em série com uma resistência de 47 kΩ que permite medir o valor da tensão na fibra durante o tempo de polarização.

O dispositivo usado inicialmente foi fabricado com a fibra especial F20523-8 e foram realizadas várias tentativas para polarizar a fibra utilizando a liga BiSn. O dispositivo era colocado sobre uma chapa aquecedora (Corning, modelo PC-420), a qual era programada para atingir a temperatura de polarização de $\sim 270^{\circ}\text{C}$. Uma variação na temperatura de 5°C foi medida devido ao fato do experimento

ser realizado em ambiente sem proteção de variações externas. Quando o equilíbrio térmico era atingido (após 40 min) a alta tensão era aplicada. Para evitar que a fibra partisse, a tensão aplicada, nas diferentes tentativas, foi da ordem de 1 kV. A tabela 20 mostra a tensão aplicada, a temperatura e o tempo de polarização para as diferentes tentativas:

Tabela 20 - Tensão aplicada durante a polarização para vários valores de temperatura e tempos de polarização.

Experimento/ Parâmetros	1	2
Tensão (V)	800	800
Temperatura (°C)	270	270
Tempo (min)	25	150

As figuras 87, 88 mostram a dependência da corrente com o tempo de polarização para os experimentos 1 e 2 (tabela 20). Conforme pode se observar, a corrente apresenta o decaimento esperado com o tempo indicando a formação da camada de depleção durante a polarização.

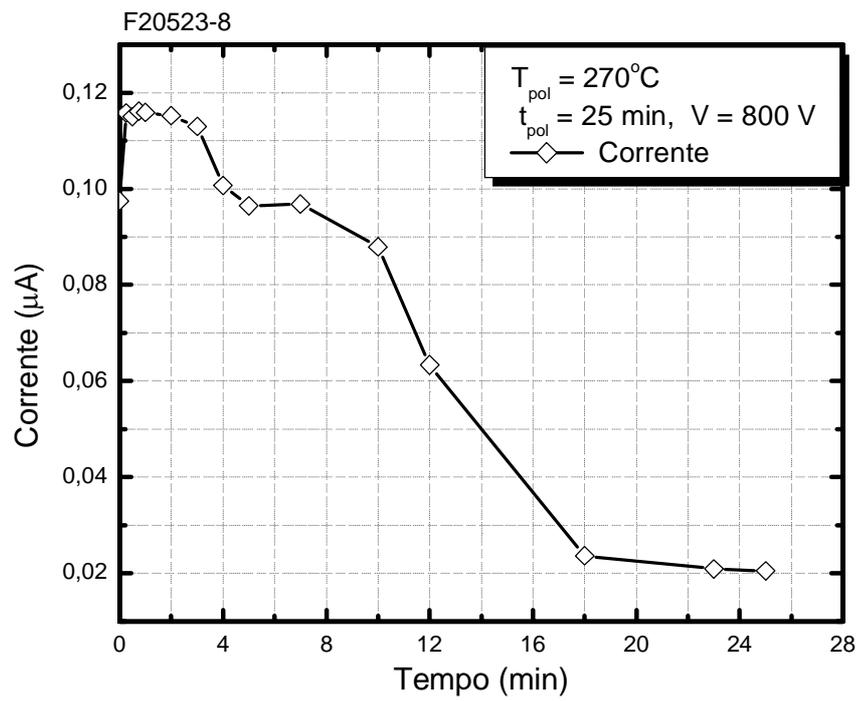


Figura 87 - Corrente versus tempo de polarização para o dispositivo da fibra F20523-8. Experimento 1 (Tabela 20). A linha é uma guia para os olhos.

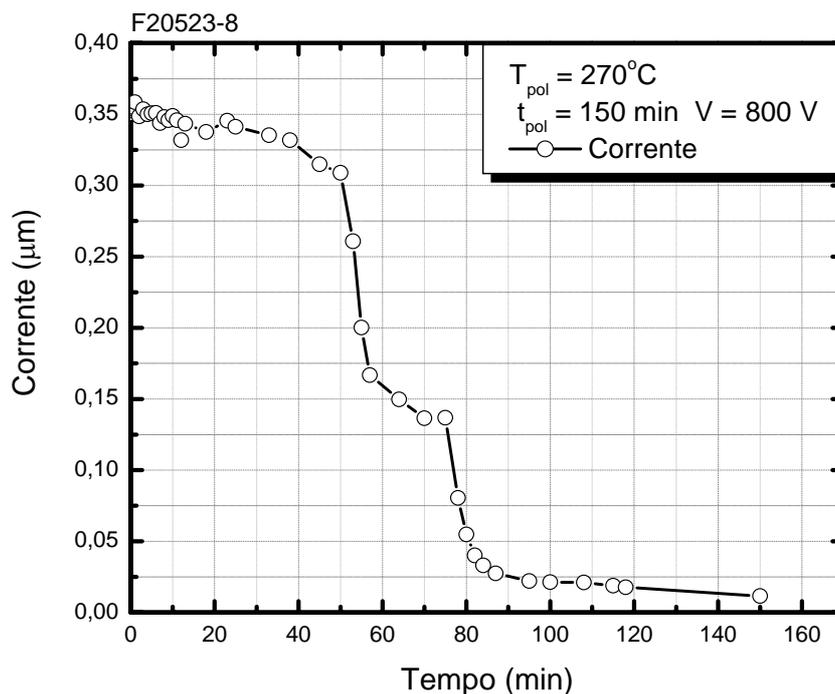


Figura 88 - Corrente versus tempo de polarização para o dispositivo da fibra F20523-8. Experimento 2 (Tabela 20). A linha é uma guia para os olhos.

A temperatura de polarização $270^{\circ}C$ era maior que o ponto de fusão da liga utilizada BiSn ($137^{\circ}C$), portanto, a polarização ocorreu com os eletrodos no estado líquido. Os eletrodos foram testados com a ponta de prova nesta temperatura e foi medido que ainda conduziam. Quando o dispositivo esfriou a temperatura ambiente, os eletrodos se solidificaram novamente.

Durante a polarização, 100 mW de radiação infravermelha (1064 nm) *Q-switched mode locked*, foi acoplada na entrada da fibra utilizando uma lente de 4 cm de distância focal, no entanto não foi possível observar sinal de segundo harmônico gerado.

Uma vez que a lâmina de “soda lime”, sobre a qual a fibra era fixada, diminuía sua resistência na temperatura de $270^{\circ}C$, ela começava a conduzir durante o processo de polarização, o que dificultava a polarização da fibra. Foi, então, modificado o aparato experimental utilizando duas pequenas lâminas de soda lime conectadas por dois pedaços de teflon, isolando assim, uma placa de “soda lime” da outra como mostra a figura 89.

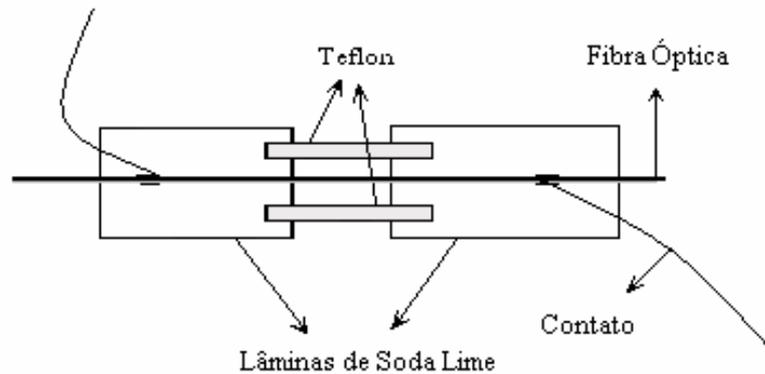


Figura 89 - Dispositivo modificado. A figura mostra duas lâminas de “soda lime” conectadas através de dois pedaços de teflon.

O experimento de polarização foi realizado novamente (Experimento 3). A tensão aplicada foi de 947 V. Desta vez o procedimento de polarização foi mudado. Como a lâmina de soda lime conduzia à medida que aumentava a temperatura para a polarização, esta foi aumentada lentamente e a queda de tensão foi medida na lâmina de “soda lime” durante a polarização para cada aumento de temperatura utilizando um multímetro adicional no circuito. A queda de tensão na fibra corresponderia à diferença entre a tensão aplicada e a queda de tensão na lâmina de “soda lime”. Ao atingir a temperatura de 280°C a tensão medida na lâmina de “soda lime” foi de 7,2 V, portanto a tensão na fibra era $947 \text{ V} - 7,2 \text{ V} = 939,8 \text{ V}$. A tabela 21 mostra as temperaturas e as tensões aplicadas sobre a fibra e a lâmina. O gráfico da figura 90 mostra a variação da corrente na fibra durante o tempo de polarização (150 min). A variação da temperatura é também mostrada em função do tempo.

Tabela 21 - Tensão aplicada na lâmina de “soda lime” e na fibra para cada valor da temperatura para 1kV de tensão aplicada.

Tempo	Tensão na lâmina	Tensão na fibra	Temperatura	Corrente
(min)	(V)	(V)	(°C)	(mA)
0	0,0	947,0	117	20,2
0,25	0,0	947,0	117	20,2
0,5	0,0	947,0	118	20,2
1	0,0	947,0	117	20,2
2	0,0	947,0	117	20,2
3	0,0	947,0	117	20,2
4	0,0	947,0	117	20,2
5	0,0	947,0	116	20,2
8	0,0	947,0	118	20,2
10	0,0	947,0	118	20,2
12	0,0	947,0	118	20,2
15	0,0	947,0	119	20,2
20	0,0	947,0	125	20,2
21	0,0	947,0	170	20,2
22	0,1	946,9	187	20,2
23	0,1	946,9	187	20,2
25	0,3	946,7	189	20,1
27	0,4	946,6	198	20,1
29	0,5	946,5	203	20,1
30	0,6	946,4	205	20,1
55	3,3	943,7	257	20,1
60	3,7	943,3	257	20,1
70	3,9	943,1	257	20,1
80	4,5	942,6	264	20,1
85	4,6	942,4	265	20,1
90	6,6	940,4	270	20,0
92	7,3	939,7	280	20,0
95	5,4	941,6	270	20,0
100	6,9	940,1	783	20,0
105	6,9	940,1	287	20,0
110	7,3	939,7	289	20,0
115	8,2	938,9	288	20,0
120	8,0	939,0	286	20,0
130	7,4	939,6	286	20,0
140	7,2	939,8	286	20,0
150	7,4	939,6	286	20,0

A tabela 21 mostra a queda de tensão no dispositivo para varias temperaturas quando 1 kV é aplicado ao sistema. As medições mostram que a queda de tensão na lâmina de “soda lime” é muito pequena, portanto a polarização utilizando a montagem modificada (figura 96) permitiu realizar um experimento de polarização com maior precisão.

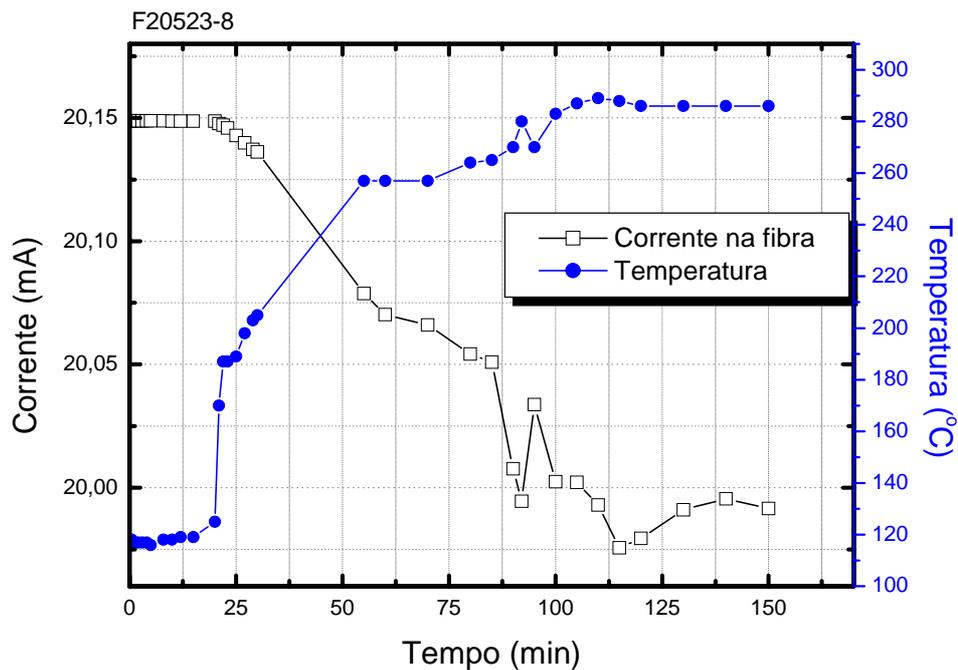


Figura 90 - Corrente e temperatura versus tempo de polarização. A temperatura de polarização foi de 280°C, a tensão aplicada na fibra foi de 947 V. A polarização foi realizada com uma montagem modificada (figura 89).

Para a medição do segundo harmônico gerado, após o processo de polarização, a potência média da radiação infravermelha acoplada na fibra F20523-8 foi de 100 mW gerando uma potência média do segundo harmônico gerado de 0,086 nW. Na fibra foi observada uma cor verde durante breves intervalos de tempo, mas o valor médio da potência registrado no medidor de potência permaneceu constante. A fibra então, foi polarizada e o valor da potência média do segundo harmônico gerado foi de 0,086 nW, o qual corresponde a uma baixa eficiência de geração de segundo harmônico.

A medição de segundo harmônico também foi feita na fibra com fios de tungstênio inseridos após o processo de polarização eletrotérmica da mesma. O máximo valor de potência média do segundo harmônico obtido para esta fibra foi de 3,5 nW depois de acoplar 150 mW de um feixe infravermelho (1064 nm). Foi observada uma cor verde no anteparo na frente da saída da fibra. Este valor da potência média do SHG medido indica que a fibra polarizou.

8.5.

Redes de Bragg em fibras especiais com e sem eletrodos inseridos

As fibras especiais tais como as fibras com um núcleo e dois buracos (*THF*) visionam o desenvolvimento de dispositivos ópticos ativos tais como moduladores eletro-ópticos, chaves ópticas e redes de Bragg (*fiber Bragg gratings- FBG*) sintonizáveis.

Nesta parte do trabalho foi escrita uma rede de Bragg na fibra especial F020523-8 sem e com eletrodos inseridos de BiSn (Triques et al., 2003), Esta liga tem um ponto de fusão de 137°C. Obtiveram-se também resultados preliminares da resposta da rede de Bragg gravada nesta fibra, ao aplicar tensão. O procedimento foi feito em colaboração com o Laboratório de Sensores de Fibras Ópticas do departamento de Engenharia Mecânica da PUC-RIO em colaboração com a Profa. Adriana Triques.

Uma rede de Bragg (*FBG*) é uma modulação periódica do índice de refração gerada pela exposição do núcleo de uma fibra a um padrão de interferência de radiação ultravioleta (UV). A absorção da radiação UV pelos centros de germânio (Ge) da fibra, gera novos defeitos no núcleo da fibra, alterando o índice de refração das regiões iluminadas. O índice de refração pode variar em relação ao índice de refração do núcleo por um fator de 10^{-3} . Esta modulação periódica do índice de refração do núcleo causa a reflexão parcial de luz propagando na fibra. A interferência construtiva da luz parcialmente refletida ocorre para a radiação em fase, a qual é determinada pela lei de Bragg: $\lambda_B = 2n_{ef}\Lambda$, onde n_{ef} é o índice de refração efetivo núcleo-casca, Λ é o período de modulação do índice de refração e λ_B é o comprimento de onda de Bragg (Kashyap et al., 1999; Othonos e Kalli, (1999). Com o propósito de aumentar a absorção de radiação UV e obter uma fibra fotossensível, o núcleo da fibra pode ser dopado, com altos níveis de germânio, Ge, por volta de 10% a 20% por mol ou com outros dopantes. Para incrementar a fotossensibilidade das fibras, estas podem ser carregadas com hidrogênio (Lemaire et al, 1993). As redes de Bragg escritas em fibras fotossensíveis podem ter refletividades muito altas de quase 100%, e refletividade de 70% são obtidas com fibras padrão de telecomunicações fotossensíveis carregadas com hidrogênio. A largura do espectro de refletividade é em torno de

1,0 nm para redes de Bragg escritas em fibras fotossensíveis e de aproximadamente 0,5 nm para as escritas em fibras padrão de telecomunicações.

No Laboratório de Sensores de Fibras Ópticas, as redes de Bragg (*FBG*) são produzidas pela exposição lateral da casca de uma fibra (sem revestimento de proteção) ao quarto ou ao quinto harmônico de um laser Nd:YAG, Q-switched, 266 nm e 213 nm respectivamente. O laser utilizado libera pulsos de 5,0 ns em taxas acima de 20 Hz. Pela alta energia dos pulsos, acima de 10 mJ em 266 nm, a potência média utilizada deste laser, não pode ser maior do que 20 mW porque queimaria a casca da fibra e pararia o crescimento da rede. São necessários, então, longos tempos de exposição para obter redes saturadas. Os tempos de exposição típicos são de 1 minuto a 4 minutos para fibras fotossensíveis hidrogenadas, e de 20 minutos a 40 minutos para fibras padrão de telecomunicações hidrogenadas.

O dispositivo a fibra no qual a rede seria escrita foi montado no laboratório de Opto-eletrônica tal como foi descrito na seção 8.3.

8.5.1 Procedimento

Com o propósito de incrementar a fotossensibilidade nas fibras antes de escrever uma rede de Bragg em cada uma delas, as fibras foram colocadas durante 3 dias em um cilindro, a temperatura ambiente, contendo hidrogênio pressurizado com 150 kg/cm². Como são requeridas duas semanas para saturar o nível de hidrogênio no núcleo de uma fibra com dois buracos (*THF*) com eletrodos inseridos nessa pressão, o hidrogênio não foi saturado na matriz da fibra no momento da gravação.

No posicionamento da fibra na montagem para a escrita da rede de Bragg, as fibras eram posicionadas de tal forma que se evitasse o bloqueio da radiação incidente pelos eletrodos inseridos nos dois buracos.

Para escrever as redes de Bragg, as fibras eram desprovidas do revestimento de proteção em uma pequena região (~ 1 cm- janela) no centro entre os dois fios conectados ao eletrodo e depois eram coladas em um suporte de teflon como o mostrado na figura 91, e o sistema, para escrever a rede de Bragg, era alinhado no plano do padrão de interferência UV. O espectro de refletividade era monitorado durante o processo de gravação da rede de Bragg.

Eram usados pulsos curtos de 4 ns da radiação UV (213 nm) para escrever as redes de Bragg nas fibras especiais. Desta forma, evitava-se, que o metal inserido na fibra se expandisse pelo aquecimento local devido à absorção da radiação UV incidente, o que causaria dilatação na fibra e dificultaria a gravação de um padrão de interferência bem definido no núcleo da fibra, resultando em um espectro da rede com baixa resolução.

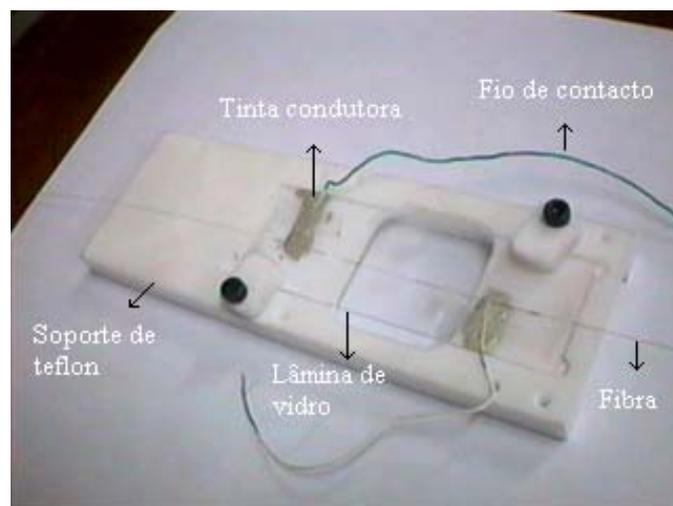


Figura 91 - Dispositivo feito com a fibra: F030402-1F. Os eletrodos inseridos foram fios de tungstênio.

Dentro da fibra especial era acoplada a radiação de banda larga, (largura 70 nm centrada em 1550 nm) emitida por um diodo laser (*LED*) polarizado parcialmente. Um analisador de espectro óptico (*OSA – optical spectrum analyzer*) registrava a faixa do espectro refletido. Para ter um valor aproximado da refletividade da rede de Bragg durante a gravação, o valor da intensidade refletida era calibrado em relação ao valor da intensidade obtida quando o extremo da fibra era clivado, o qual correspondia a 4% de refletividade. Uma das fontes de erro para se obter o valor da refletividade da rede de Bragg era a clivagem do extremo da fibra, porque a fibra especial depois de ter sido hidrogenada ficava muito frágil e difícil de clivar. A segunda fonte de erro surgia do fato de que o *LED* era 30% polarizado e o dispositivo de fibra especial apresentava uma perda dependente da polarização (*polarization dependent loss - PDL*).

8.5.2. Dinâmica do crescimento da rede de Bragg na fibra especial F030402-1 com e sem eletrodos

O gráfico da figura 92 mostra a dinâmica do crescimento da rede de Bragg para a fibra especial F030402-1F com e sem eletrodos inseridos.

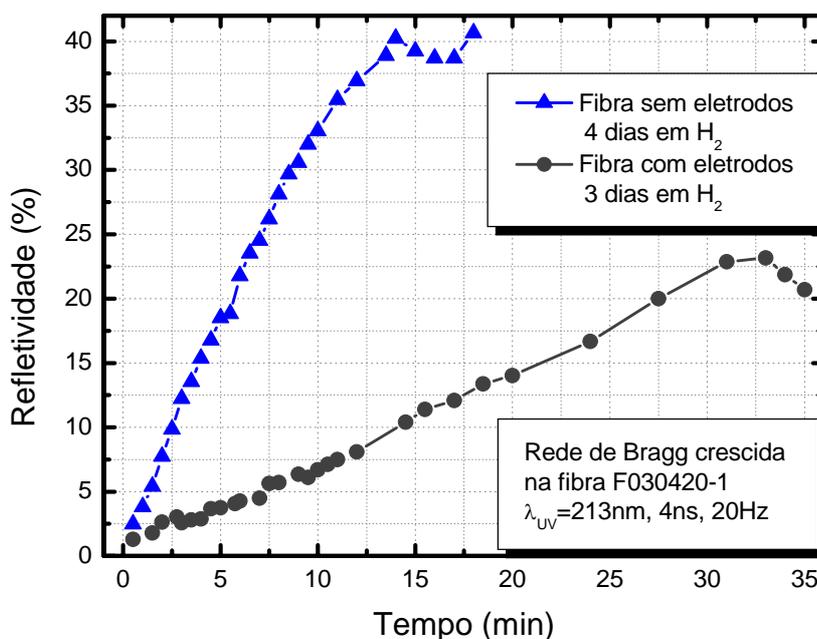


Figura 92 - Dinâmica do crescimento da rede de Bragg na fibra especial com sem eletrodos inseridos. Fibra F030420-1F com núcleo de 4 μm de diâmetro

Para ambos os casos a refletividade aumentou de forma monotônica com o tempo de exposição de UV até que o máximo foi atingido. Para tempos mais longos de exposição das fibras ao padrão de interferência UV, foi observado um rápido decréscimo da refletividade da rede de Bragg. A escrita da rede foi interrompida neste momento. Os valores do comprimento de onda de Bragg (não mostrados no gráfico) também aumentaram de forma monotônica com o tempo, mas não mostraram nenhuma saturação ou decréscimo para longos tempos de exposição.

A dinâmica do crescimento da rede de Bragg na fibra especial hidrogenada foi similar à obtida em fibras padrão carregadas de hidrogênio e fotossensíveis, crescidas sob as mesmas condições no Laboratório de Sensores de Fibras Ópticas do departamento de Engenharia Mecânica (PUC-Rio). Um tratamento térmico de

temperaturas acima de 250°C causou um decréscimo de 30% a 40% sobre a refletividade original de redes de Bragg em fibras padrão (Triques et al., 2003).

8.5.3. Espectro de refletividade das redes crescidas

Refletividades de 40% e de 25% foram obtidas para a fibra especial F030402-1F sem (figura 93) e com (figura 94) eletrodos respectivamente.

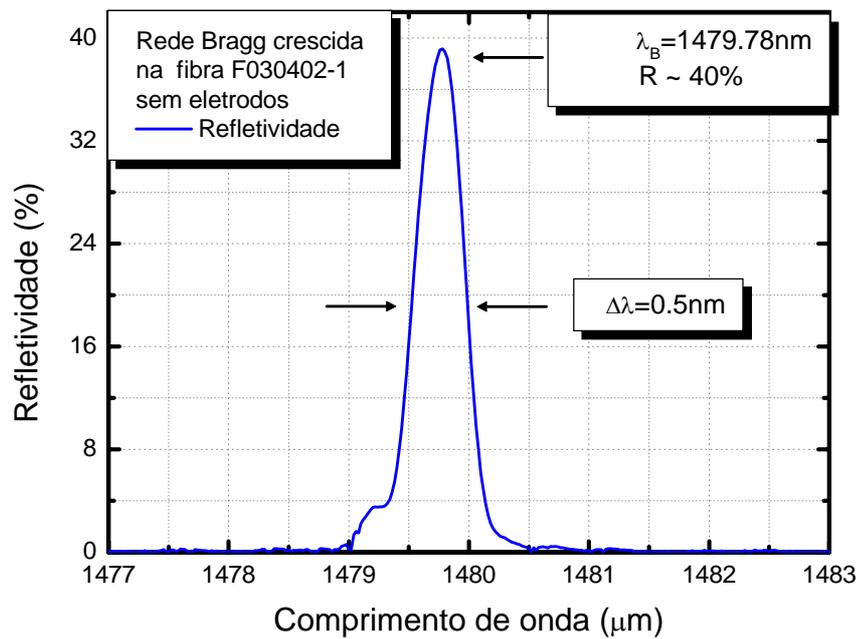


Figura 93 - Espectro de refletividade da rede de Bragg crescida na fibra especial F020523-8 sem eletrodos.

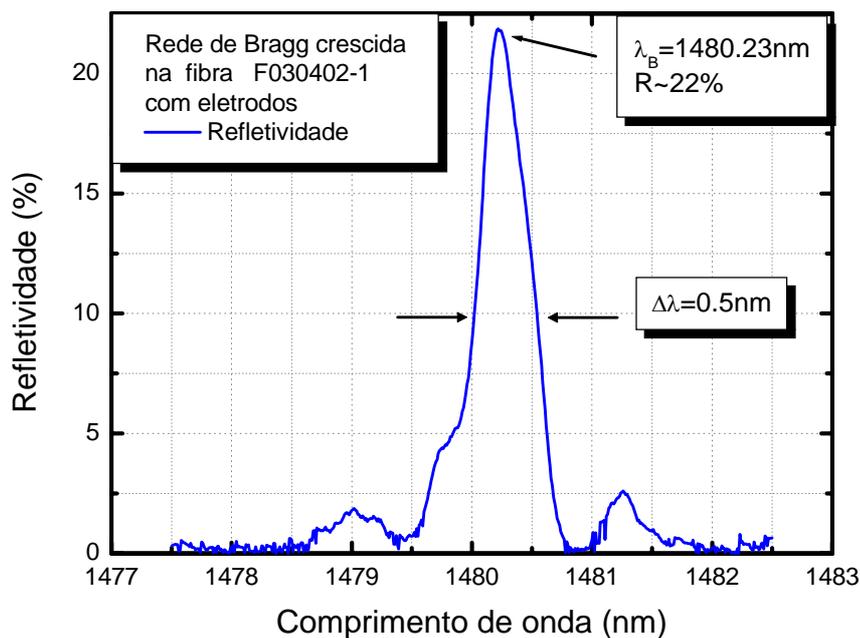


Figura 94 - Espectro de refletividade da rede de Bragg crescida na fibra especial F020523-8 com eletrodos inseridos.

Os valores máximos das refletividades e os lóbulos laterais dependem do alinhamento da fibra no plano de interferência UV. Esta poderia ser a razão para a diferença na dinâmica do crescimento e na refletividade máxima observada nos gráficos das figuras 93 e 94.

Como pode ser observado, apesar do longo tempo de exposição necessário para atingir a máxima refletividade, um espectro sem ruído e estreito foi obtido (0,5 nm). Os lóbulos laterais dependem fortemente do alinhamento da fibra com respeito ao padrão de interferência UV.

Como a composição da fibra especial F030402-8 é similar à das fibras padrão de telecomunicações, se espera que uma refletividade de 70% seja atingida para fibras com nível de hidrogênio saturado.

8.5.4

Espectro de refletividade das redes crescidas para diferentes tensões dc aplicadas

Na última parte desta experiência foi aplicada tensão dc no dispositivo contendo a rede de Bragg. O gráfico da figura 95 mostra o espectro refletido para

três valores da tensão dc aplicada: 0 V, 200 V e 400 V. Acima de 400 V não aconteceram mudanças no espectro refletido da rede. Acima de 500 V de tensão ocorreu o rompimento da fibra, causando um curto circuito no dispositivo. Os pontos de fissura foram observados perto dos contactos. O rompimento aconteceu provavelmente devido à fragilidade da fibra durante o processo de fabricação do dispositivo.

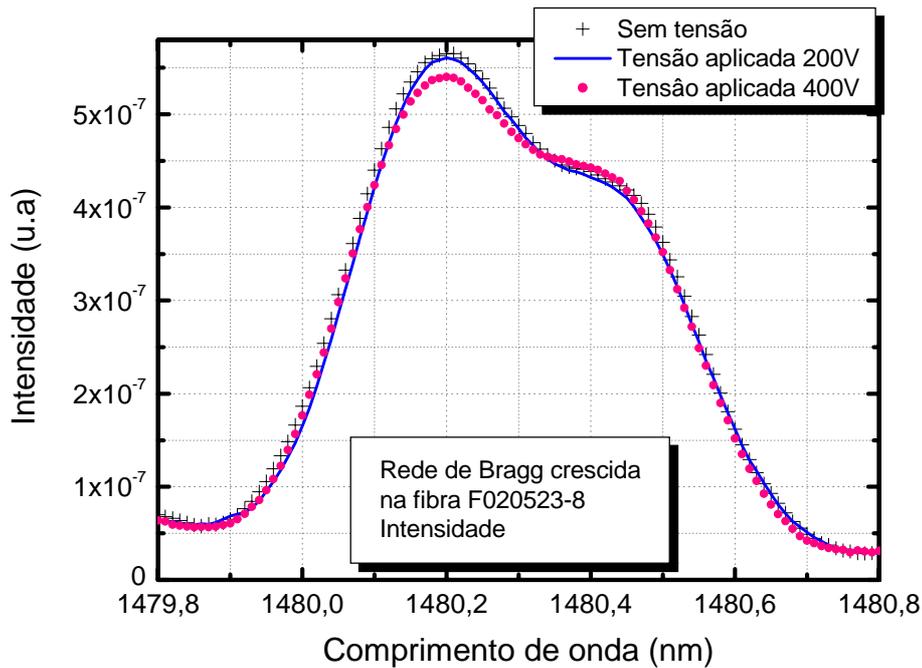


Figura 95 - Espectro de refletividade da rede de Bragg crescida na fibra especial com eletrodos para diferentes tensões aplicadas.

Foi observado que o valor do máximo de intensidade do espectro da rede de Bragg mudava quando a fibra, dentro da qual se propagava a luz do LED, era dobrada numa forma de um laço (figura 96), em diferentes ângulos com respeito à posição vertical do laço. Especula-se que o metal inserido na fibra atenua o campo evanescente em uma das polarizações do LED alterando o estado de polarização que chegava à rede de Bragg, como um controlador de polarização.

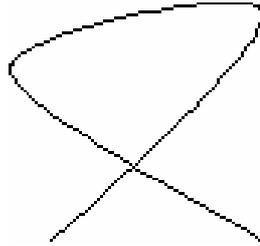


Figura 96 - Fibra dobrada como um laço.

Primeiro foi testada uma das fibras especiais sem eletrodos contendo uma rede de Bragg, não ocorrendo mudanças na intensidade do espectro da rede de Bragg quando a fibra foi dobrada. Posteriormente, foi feita a mesma experiência com a fibra com eletrodos e uma rede de Bragg escrita nela. A intensidade do espectro variou para diferentes ângulos de dobramento da fibra. Poderse pensar que quando a fibra especial tem metal inserido, ocorre uma atenuação do campo evanescente em uma das polarizações do LED e, assim, quando dobramos a fibra, alteramos o estado de polarização que chega à rede, podendo atenuar sua intensidade, aumentando ou diminuindo-a. Os resultados podem ser observados na tabela 22 e no gráfico da figura 97.

Tabela 22 - A tabela mostra as diferentes posições em que foi colocada o laço de fibra e o ângulo dessa posição com respeito à posição vertical do laço e o máximo do sinal registrado para cada posição.

Posição da fibra	Ângulo	Potência máxima
	(°)	(pW)
Repouso	- - -	242
Laço vertical	0	300
Laço posicionado para trás	-90	250
Laço posicionado para frente	+90	235
Laço posicionado para trás	-45	280
Laço posicionado para frente	+45	210
Laço posicionado para baixo	180	210

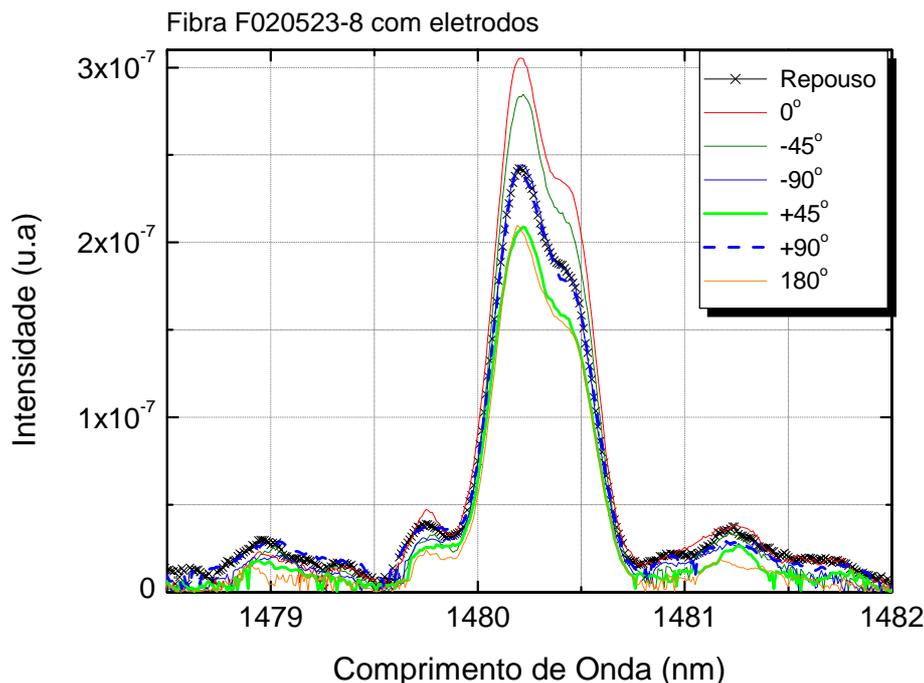


Figura 97 - Variação da intensidade no espectro de refletividade para o comprimento de onda de Bragg de 1840,23 nm quando é alterada a posição do laço feito com a fibra F030402-8 com eletrodos.

8.6. Conclusões

As curvas referentes aos valores da corrente durante a polarização da fibra F020523-8 apresentam o comportamento típico de uma curva de polarização, o que parece indicar que a fibra especial 7020523-8 foi polarizada. No entanto o valor da potência do segundo harmônico obtido foi muito baixo (0,082 nW). Esta polarização foi realizada com os eletrodos líquidos (ponto de fusão 137°C). Este fato pode permitir a contaminação das paredes dos buracos da fibra com íons ou impurezas, influenciando a formação da camada de depleção durante o processo de polarização e afetando a indução da não-linearidade na fibra.

A fibra F030402-1F foi polarizada utilizando-se eletrodos inseridos. O diâmetro dos fios de aproximadamente 20 μm era menor que o diâmetro dos buracos da fibra $\sim 30 \mu\text{m}$, o que era necessário para conseguir inseri-los. Conseqüentemente, os buracos não ficavam completamente cheios do metal, propiciando a presença de ar entre a fibra e o fio e, desta forma, parte da tensão

aplicada caía neste espaço de ar, diminuindo o valor da tensão útil durante a polarização. Além do mais, durante a polarização, a posição do fio era aleatória ao longo da fibra o que fazia com que o campo aplicado também variasse ao longo da mesma. O valor do SH medido foi de 0,03 nW.

As redes de Bragg foram gravadas na fibra F020523-8 com eletrodos de BiSn inseridos e foi obtido um espectro estreito de refletividade. Não foram observadas mudanças no comprimento de onda de Bragg quando foi aplicada tensão dc na fibra acima de 400 V.