



Fabricação de dispositivo para dobramento de frequência por técnica de Semi-Quase-Casamento de Fase

Palavras-Chave: Semi-Quase-Casamento de Fase, Óptica Não-Linear, Geração de segundo harmônico

Autores(as):

Higor Vasques, IFGW – Unicamp

Maria Carolina Volpato, IFGW – Unicamp

Prof. Dr. Newton C. Frateschi (orientador), IFGW – Unicamp

INTRODUÇÃO:

A geração de segundo harmônico (SHG, em inglês *second harmonic generation*) consiste na geração de um feixe de luz com o dobro da frequência de um feixe incidente, frequentemente realizada através do uso de cristais com efeitos não-lineares, o que a torna útil para geração de luz em comprimentos de onda de difícil obtenção [1]. A técnica também desperta interesse em circuitos fotônicos integrados quando usada em reverso, para geração de dois fótons emaranhados [2].

No entanto, a sensibilidade do SHG a diferença de fase causa um perfil de intensidade semelhante a curva I da Figura 1, o que dificulta a obtenção de feixes com alta intensidade. Através do uso de cristais birrefringentes é possível obter um casamento de fase [4], que consiste na condição em que os feixes envolvidos possuem mesma fase, obtendo um perfil de intensidade como o da curva II da Figura 1. No entanto tal método é complexo e de difícil aplicação em circuitos integrados. Também existe a possibilidade do uso do quase-casamento de fase, por exemplo, usando *polling* [5], onde se inverte periodicamente o domínio cristalino do material a cada comprimento de coerência (L_{coh}), equivalente ao comprimento no qual a diferença de fase leva a diminuição da intensidade, o que leva a um perfil de intensidade da curva III da Figura 1. No entanto, *polling* só é possível em uma classe restrita de materiais, sendo também um processo caro e complexo.

Como alternativa, foi proposto o semi-quase-casamento de fase (SQPM, em inglês *semi-quasi-phase matching*) [6], realizada através de segmentos de cristais monocristalinos e policristalinos alternados a cada L_{coh} . Em ambas as fases ocorre SHG, mas na fase policristalina, devido a distribuição aleatória dos grãos não há mudança efetiva da intensidade [7]. No entanto há a mudança de fase necessária para que a intensidade volte a crescer no próximo segmento monocristalino, gerando um perfil de intensidade como o da curva IV da Figura 1, levando a um crescimento parecido com o quase-casamento de fase, porém necessitando do dobro do comprimento.

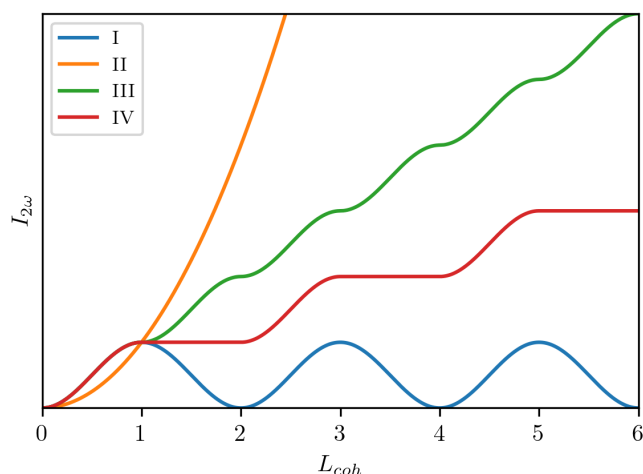


Figura 1 - Perfil de intensidade para diferentes condições de casamento de fase, baseado em [6]. Curva I - Ausência de casamento de fase. Curva II - Casamento de Fase. Curva III - Quase-casamento de fase. Curva IV - Semi-Quase-Casamento de fase.

Nesse projeto será fabricado um dispositivo para SHG na faixa dos $10 \mu m$ do espectro infravermelho usando GaAs, fazendo efetivamente um conversor para faixa dos $5 \mu m$, sendo um produto promissor para fontes de luz nessa região, além de atuar como uma de conceito da técnica de SQPM. Foi escolhido esse material por ser um material com alta susceptibilidade não-linear e alta janela de transparência no infravermelho médio ($2 \mu m - 10 \mu m$) [8].

METODOLOGIA:

Nesse trabalho será fabricado um dispositivo o qual tem camadas de cristais monocristalinos e policristalinos de GaAs a cada $L_{coh} \approx 110 \mu m$, valor previamente calculado em [9]. Para geração do feixe de $5 \mu m$ será utilizado um laser sintonizável de CO_2 , emitindo luz na faixa de $10 \mu m$. O dispositivo será composto pela combinação de um número variado de células bases, cada uma com um segmento monocristalino e um segmento para alocação do GaAs policristalino. As células bases serão unidas através de um processo de *wafer fusion* [9].

Para fabricação das células bases serão utilizados *wafers* de GaAs <100>. Cada célula base terá um tamanho de $10 mm \times 10 mm \times 220 \mu m$, principalmente por conta do tamanho do feixe gerado pelo laser disponível. Em cada célula haverá um buraco centralizado de dimensões $5 mm \times 5 mm \times 110 \mu m$ onde o pó de GaAs monocristalino será alocado. Um esquema das células bases e do dispositivo está disponível na Figura 2.

Com uma espessura inicial de $350 \mu m$, o *wafer* será afinado através de uma corrosão úmida com solução piranha até chegar a espessura alvo de $220 \mu m$. A partir disso será depositado sílica em ambas faces do *wafer*, para então fazer a litografia óptica, preparando uma *hard mask* para corrosão

de $110\ \mu\text{m}$ da região do *wafer* que será o buraco para alocação do segmento policristalino. Finalizada a litografia, o *wafer* será clivado, podendo produzir até 12 células bases. Por fim, o buraco de uma célula base será preenchido com pó de GaAs policristalino e logo em seguida será unida a uma outra célula base por *wafer fusion*, repetindo o processo até atingir a quantidade de segmentos desejada.

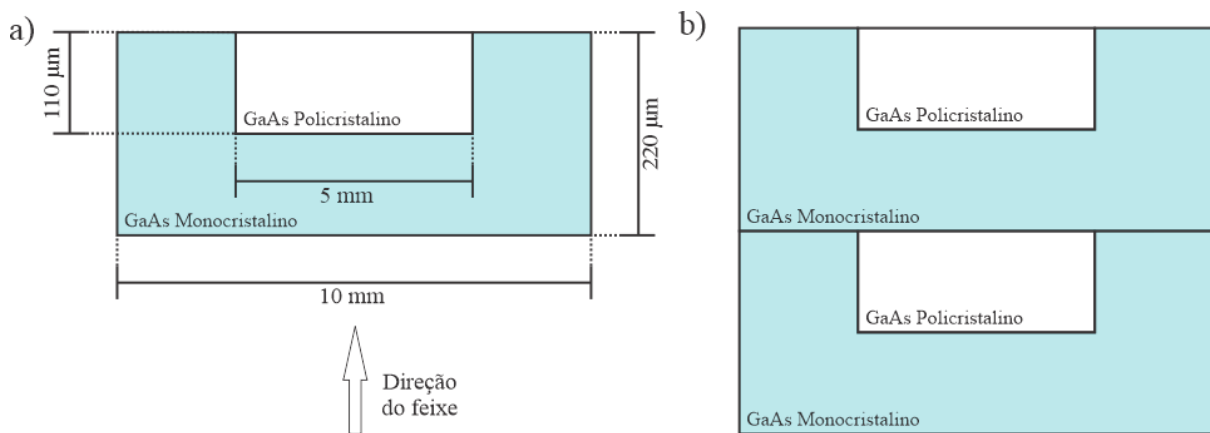


Figura 2 - a) esquema da célula base composta por GaAs monocristalino e policristalino. b) ideia de dispositivo montado a partir da união das células bases.

Com o dispositivo fabricado, será feito um experimento com o laser de CO_2 e detectores de InSb e HgCdTe para detecção do sinal de SHG e caracterização da eficiência da conversão de $10\ \mu\text{m}$ para $5\ \mu\text{m}$ em função do número de células bases, o que permitirá a avaliação da viabilidade da técnica de SQPM.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

O projeto do dispositivo, bem como a verificação do sinal de segundo harmônico já foi feita em trabalho anterior [10], portanto o esforço do presente trabalho foi principalmente para fabricação do dispositivo, com foco em três grandes etapas: O afinamento do *wafer*, a criação do espaço para o segmento policristalino e o processo de *wafer fusion*.

Devida a alta sensibilidade da diferença de fase do processo de SHG, é necessário muita atenção ao afinamento do *wafer*. Inicialmente foi proposto afinamento através de desbaste mecânico, utilizando-se de pó de alumina e uma peça de aço inox desenvolvida e usinada para melhorar a qualidade do processo, com seu projeto disponível na Figura 3. No entanto, o processo se mostrou muito ineficiente e agressivo, muitas vezes danificando o *wafer*.

Como alternativa, foi preferível utilizar a própria corrosão com piranha para o afinamento do *wafer*. Para isso foi feita a caracterização da taxa de corrosão do GaAs utilizando solução piranha com proporções $9\ \text{H}_2\text{SO}_4 : 9\ \text{H}_2\text{O}_2 : 2\ \text{H}_2\text{O}$ a uma temperatura de $83\ ^\circ\text{C}$, através da submersão de fragmentos do *wafer* obtidos através de clivagem, variando o tempo de exposição ao ácido, levando ao resultado exposto na Figura 4, onde foi encontrada uma taxa de corrosão de $(32,7 \pm 0,1)\ \mu\text{m}/\text{min}$. Assim, uma

corrosão de aproximadamente quatro minutos é suficiente para o afinamento do *wafer*. Para o controle mais fino da espessura serão utilizadas soluções com concentrações menores de agentes corrosivos, permitindo a precisão necessária para realização de SQPM.

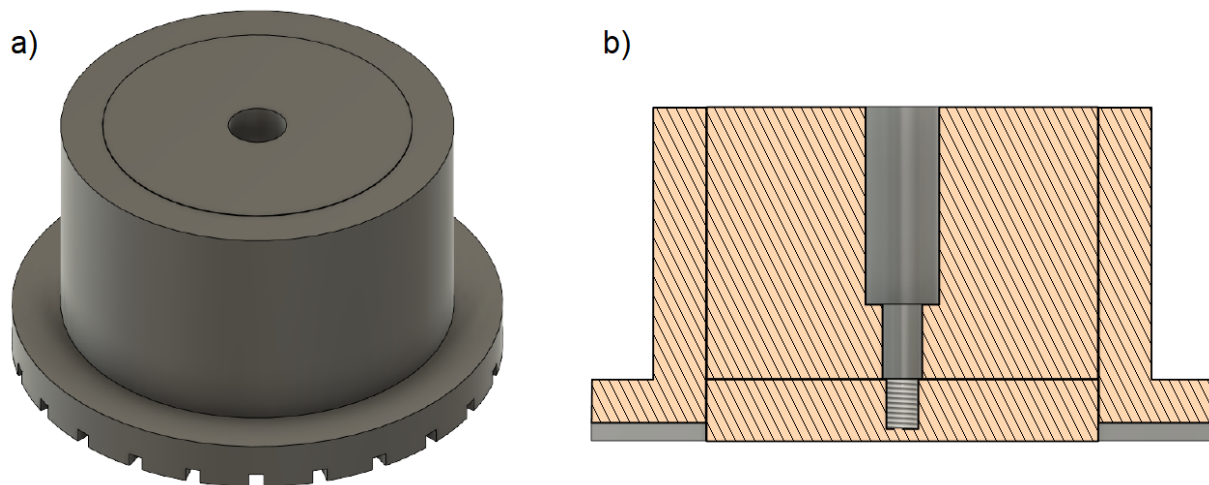


Figura 3 - a) Projeto da peça para o desbaste mecânico b) Corte transversal da peça. O *wafer* é preso na base da peça com uma cera, então um peso é parafusado na base, para garantir a uniformidade do processo. Então o bloco é encaixado no guia, com ranhuras para o fluxo de pó de alumina.

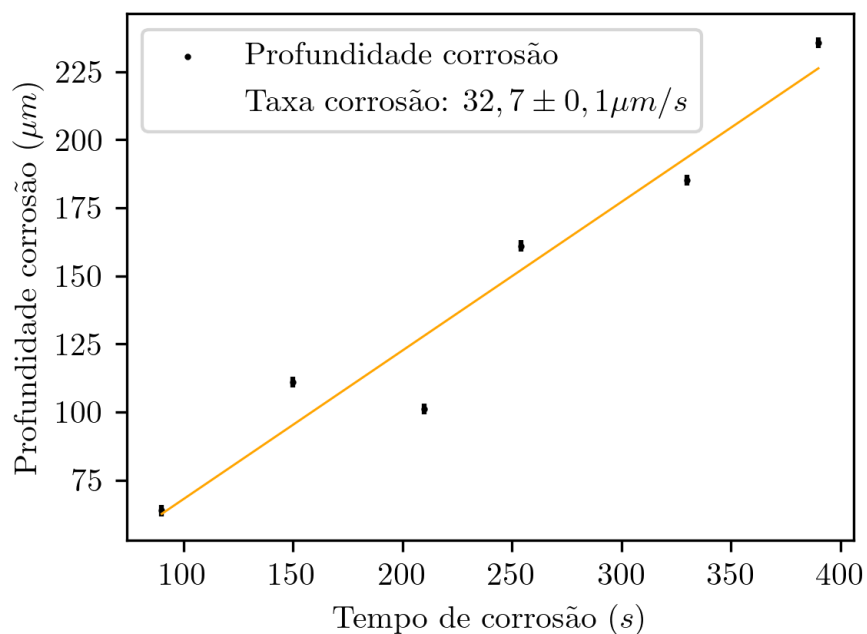


Figura 4 - Resultado da caracterização da corrosão com solução piranha $9 H_2SO_4 : 9 H_2O_2 : 2 H_2O$ a uma temperatura de $83^\circ C$

A fotolitografia do buraco para o segmento policristalino foi feita com sucesso, porém o fotoresiste utilizado não suportou a corrosão com piranha. Esse fato levou a decisão de utilizar a sílica como *hard mask*. A deposição de sílica já foi feita com sucesso, e para realização dos padrões será utilizada fotolitografia, utilizando resiste orgânico com máscara, e uma solução de *buffer HF* (ácido

fluorídrico) para corrosão da *hard mask*. Com ambas etapas concluídas, será iniciada a etapa de *wafer fusion*, com os resultados sendo apresentados durante a sessão de posters.

CONCLUSÕES:

O projeto fez esforços para a fabricação das células bases do dispositivo final. Com a conclusão da etapa de fabricação será possível a caracterização de dispositivos, permitindo a conclusão da primeira prova de conceito de Semi-Quase-Casamento de fase. Além disso, o dispositivo final também funcionará como um conversor de luz de $10\ \mu\text{m}$, região do espectro com amplas fontes disponíveis, para faixa dos $5\ \mu\text{m}$, que carece de fontes sintonizáveis.

BIBLIOGRAFIA

- [1] G. K. Samanta, S. Chaitanya Kumar, M. Mathew, C. Canalias, V. Pasiskevicius, F. Laurell, and M. Ebrahim-Zadeh, "High-power, continuous-wave, second-harmonic generation at 532 nm in periodically poled KTiOPO₄," *Opt. Lett.* 33, 2955-2957 (2008)
- [2] M I Petrov et al 2018 *J. Phys.: Conf. Ser.* 1124 051021
- [3] Rui Luo, Haowei Jiang, Steven Rogers, Hanxiao Liang, Yang He, and Qiang Lin, "On-chip second-harmonic generation and broadband parametric down-conversion in a lithium niobate microresonator," *Opt. Express* 25, 24531-24539 (2017)
- [4] Golovan, L., Timoshenko, V., Fedotov, A. et al. Phase matching of second-harmonic generation in birefringent porous silicon . *Appl Phys B* 73, 31–34 (2001). <https://doi.org/10.1007/s003400100612>
- [5] Saha, S.K. Second Harmonic Generation in Optical Glass Fibers by Magneto-Optic Polling Technique. *J Opt* 23, 173–177 (1994). <https://doi.org/10.1007/BF03549279>
- [6] Navin B. Patel, "Nonlinear optical device for middle infrared generation", *Proc. of SPIE*, Vol. 6952.
- [7] Baudrier-Raybaut, M., Haidar, R., Kupecek, P., Lemasson, P. and Rosencher, E., 2004. Random quasi-phase-matching in bulk polycrystalline isotropic nonlinear materials. *Nature*, 432(7015), pp.374-376.
- [8] J.O. Akinlami, A. O. Ashamu, "Optical properties of GaAs", *Journal of Semiconductors*, vol 34, No 3.
- [9] Z. L. Liao, D. E. Mull; Wafer fusion: A novel technique for optoelectronic device fabrication and monolithic integration. *Appl. Phys. Lett.* 19 February 1990; 56 (8): 737–739. <https://doi.org/10.1063/1.102697>
- [10] VOLPATO, M. C. F.; FRATESCHI, N. . Relatório final referente ao projeto Semi- Quase-Casamento de Fase utilizando GaAs monocristalino e policristalino. 2020