



Projeto de Instrumentação para Ensino - Prof. José J. Lunazzi

## Introdução às fibras fotônicas

**Aluno:** Gustavo Silva Wiederhecker

**RA:**001795

**Orientador:** Carlos Lenz Cezar

# 1 Motivação.

Desde a publicação do tratado de Maxwell sobre eletromagnetismo <sup>1</sup> surgiram inúmeras aplicações da nova teoria eletromagnética. Dentre estas aplicações destacam-se os filtros ópticos baseados no processo de difração. Um dos primeiros dispositivos deste tipo foi o refletor de Bragg<sup>2</sup>, baseado em uma estrutura unidimensional com índice de refração periódico. Nessas estruturas apenas uma banda estreita de frequências podem se propagar, as demais são refletidas.

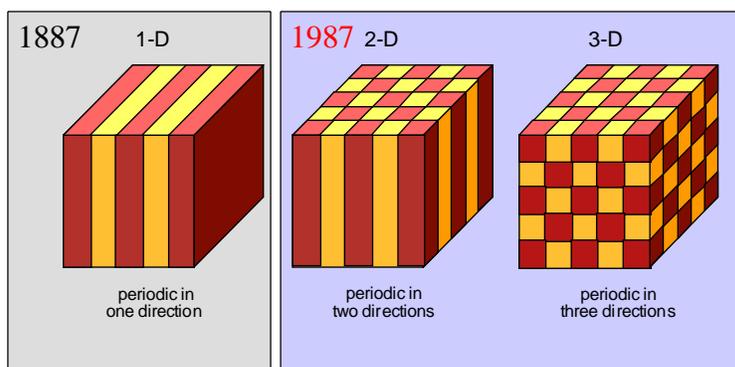


Figure 1: Ilustração de estruturas periódicas. O figura do caso unidimensionas idealiza um refletor de Bragg.

Em 1987, quase 100 anos depois da descoberta de Bragg, o professor da Universidade de Cornell, em Ithaca, Nova Iorque, Eli Yablonovitch, teve uma idéia pioneira<sup>3</sup>. Na busca por maneiras de inibir a emissão espontânea de luz de alguns materiais, percebeu que se conseguíssemos criar uma estrutura periódica em três dimensões, talvez conseguíssemos confinar

<sup>1</sup> J. Clerk Maxwell, “A dynamical theory of the electromagnetic field,” Philosophical Transactions of the Royal Society of London 155, 459–512 (1865). Abstract: Proceedings of the Royal Society of London 13, 531–536 (1864).

<sup>2</sup> Nomeado depois de Sir William Henry Bragg, que em 1915 recebeu seu prêmio Nobel em Física pelos seus trabalhos em cristalografia - bombardeando estruturas atômicas periódicas com raios-X

<sup>3</sup> E. Yablonovitch, “Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics,” Phys. Rev. Lett. 58, 2059–2062 (1987).

a luz dentro desta estrutura. Depois deste trabalho surgiram vários estudos sobre estruturas periódicas, e devido aos "gaps" de luz que estas estruturas permitiram criar, foram denominadas "Photonic Band-Gap Structures", ou PBGs.

Uma das aplicações mais importantes que resultaram destes trabalhos foi a possibilidade de desenvolver fibras ópticas que, ao invés, de basearem-se no tradicional princípio de reflexão interna total, em que a luz tende a ficar em meios com índice de refração maior, baseiam-se na reflexão interna total (conhecida como fibra de índice efetivo) e na exploração do fenômeno de difração da luz por um meio periódico. Vários grupos no mundo hoje fabricam este tipo de fibra, e provavelmente, estas fibras irão revolucionar os sistemas de comunicação óptica permitindo a criação de diversos dispositivos. Um grande vantagem destas fibras, por exemplo, é que podemos guiar luz no ar<sup>4</sup>, permitindo a propagação de luz com intensidades extremamente altas sem danificar o material. Pode-se também "desenhar"<sup>5</sup> o perfil do índice de refração desta ao longo do raio da fibra, permitindo criar curvas de dispersão bastante exóticas.

Neste curso de Instrumentação para Ensino irei fazer um estudo básico da teoria envolvida na propagação da luz através de tais fibras, assim como, utilizando o laboratório de materiais vítrios do prof. Barbosa, do Departamento de Eletrônica Quântico, irei acompanhar o processo de fabricação de tais fibras.

Acredito que assim poderei preparar um trabalho bastante didático que explora esta nova aplicação do eletromagnetismo clássico, permitindo aos demais alunos terem uma noção dos efeitos intrigantes que surgem ao propagarmos luz em meios periódicos. Pretendo, ainda, ilustrar como o tratamento matemático do problema é exatamente análogo ao tratamento feito no curso de estado sólido (F888) para elétrons em um potencial periódico.

---

<sup>4</sup> paper do russel

<sup>5</sup> Torkel D. Engeness, Mihai Ibanescu, Steven G. Johnson, Ori Weisberg, Maksim Skorobogatiy, Steven Jacobs, and Yoel Fink "Dispersion tailoring and compensation by modal interactions in OmniGuide fibers"

## 2 Plano de Trabalho.

Iremos realizar este projeto em duas etapas. Na primeira, irei fazer o estudo teórico e preparar figuras e ilustrações que permitam-me utilizar o mínimo de equações possíveis para explicar o fenômeno. Farei uma leitura rápida de algumas partes do livro <sup>6</sup>, e alguns artigos que tratam de fibras fotônicas. Irei ilustrar como calculam-se diagrama de bandas fotônicas, fazendo analogia com o problema de elétrons em estado sólido.

Na segunda etapa, irei acompanhar o processo de fabricação destas fibras no laboratório do Prof. Barbosa, e tirando fotografias das seções retas destas fibras, irei mostrar como ocorre a periodicidade, assim como os modos luminosos se estabelecem nestas fibras. Explorando a possibilidade de confinar a luz em regiões extremamente pequenas, irei sugerir algumas aplicações em dispositivos ópticos não-lineares.

## 3 Referências.

[1] - J. Clerk Maxwell, "A dynamical theory of the electromagnetic field," Philosophical Transactions of the Royal Society of London 155, 459–512 (1865). Abstract: Proceedings of the Royal Society of London 13, 531–536 (1864).

[2] - E. Yablonovitch, "Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics," Phys. Rev. Lett. 58, 2059–2062 (1987).

[3] - Torkel D. Engeness, Mihai Ibanescu, Steven G. Johnson, Ori Weisberg, Maksim Skorobogatiy, Steven Jacobs, and Yoel Fink "Dispersion tailoring and compensation by modal interactions in OmniGuide fibers"

[4] - J. D. Joannopoulos, R. D. Meade, and J. N. Winn, Photonic Crystals: Molding the Flow of Light (Princeton, September 1995).

[5] - K. P. Hansen , "Dispersion flattened hybrid-core nonlinear photonic crystal fiber"

---

<sup>6</sup> J. D. Joannopoulos, R. D. Meade, and J. N. Winn, Photonic Crystals: Molding the Flow of Light (Princeton, September 1995).

30 June 2003 / Vol. 11, No. 13 / OPTICS EXPRESS

[6] - Takeshi Fujisawa, Masanori Koshihba "Finite element characterization of chromatic dispersion in nonlinear holey fibers" - 30 June 2003 / Vol. 11, No. 13 / OPTICS EXPRESS

[7] - M. Koshihba and K. Saitoh "Structural dependence of effective area and mode field diameter for holey fibers" - 28 July 2003 / Vol. 11, No. 15 / OPTICS EXPRESS

[8] - N. A. Mortensen,<sup>1\*</sup> M. Stach,<sup>2</sup> J. Broeng,<sup>1</sup> A. Petersson,<sup>1</sup> H. R. Simonsen,<sup>1</sup> and R. Michalzik - "Multi-mode photonic crystal fibers for VCSEL based data transmission" - 25 August 2003 / Vol. 11, No. 17 / OPTICS EXPRESS.