



Eduardo Thiesen Magalhães Costa

Laser a Fibra com Cavidades Acopladas

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo programa de Pós Graduação em Física do Departamento de Física da PUC-Rio.

Orientador: Isabel Cristina dos Santos Carvalho

Co-orientador: Maria Cristina Carvalho

Co-orientador: Carlos Renato Carvalho

Rio de Janeiro

Março de 2004



Eduardo Thiesen M. Costa

Laser a Fibra com Cavidades Acopladas

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo programa de Pós Graduação em Física do Departamento de Física do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora

Isabel Cristina dos Santos Carvalho

Orientador

Departamento de Física – PUC-Rio

Maria Cristina Carvalho

Co-orientador

CETUC – PUC-Rio

Carlos Renato Carvalho

Co-orientador

Instituto de Física – UFRJ

Luiz Gallisa Guimarães

Instituto de Física – UFRJ

Paula Medeiros Proença de Gouvêa

Pós-MQI Metrologia – PUC-Rio

José Eugenio Leal

Coordenador Setorial de Pós-Graduação

Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 31 de março de 2004

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Eduardo Thiesen M. Costa

Graduou-se em Bacharelado e em Licenciatura em Física na UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro) em 2001.

Ficha Catalográfica

Costa, Eduardo Thiesen Magalhães

Laser a fibra com cavidades acopladas / Eduardo Thiesen Magalhães Costa; orientador: Isabel Cristina dos Santos Carvalho; co-orientadores: Maria Cristina Carvalho, Carlos Renato Carvalho. – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Física, 2004 .

63 f.:il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Física.

Inclui referências bibliográficas.

1. Física - Teses. 2. Laser a fibra. 3. Cavidades acopladas. 4. Érbio. 5. Monomodo. I. Carvalho, Isabel Cristina dos Santos. II. Carvalho, Maria Cristina. III. Carvalho, Carlos Renato. IV. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Física. V. Título.

CDD: 530

Para meus pais, Renato Fernando da Gama M.
Costa e Icléia Thiesen.

Agradecimentos

Aos meus orientadores, Isabel, Maria Cristina e Carlos Renato por todo o aprendizado, pela paciência e amizade.

Ao pessoal técnico administrativo, Hélio, Raquel, Alex, Bernadete, Welington, Zaneli, João , Giza, Majô, Nélia, Marcia e Julinho pelo suporte necessário.

Aos meus colegas de sala e amigos da PUC-Rio Caroline, Luciana, Cristiano, Gladys, Suly, Danays, Diego e Samantha, que muito contribuíram para o bom andamento dos trabalhos. Em especial, à Michele e ao Whualkuer, pelo fundamental apoio em todas as etapas do meu percurso.

A todos os demais colegas que direta ou indiretamente colaboraram para o desenvolvimento desta dissertação. Em especial, ao Thomas e ao Jean que, mesmo por um curto período de tempo, acompanharam de perto o andamento de etapas importantes do trabalho.

À Paula e à Adriana, pela preciosa ajuda na parte experimental.

Às famílias Thiesen e Magalhães Costa por todo o suporte. E à Tathiana, que tanto me incentivou ao longo desses anos.

À CAPES e a esta universidade pelo apoio financeiro através das bolsas concedidas.

Resumo

Thiesen, Eduardo; Carvalho, Isabel Cristina dos Santos. Rio de Janeiro, 2004. 53p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Neste trabalho, desenvolvemos um laser a fibra, monomodo e de cavidades acopladas, cujo meio de ganho é uma Fibra Dopada com Érbio. As duas cavidades, C_1 e C_2 , foram feitas no mesmo pedaço de fibra dopada, com a mesma concentração de Érbio (Er) e mesmo índice de refração. A Fibra Dopada com Érbio usada era também dopada com Germânio (Ge), que aumenta a fotossensitividade da fibra. Portanto, foi possível escrever Redes de Bragg na mesma fibra para serem usadas como os espelhos da cavidade. A configuração do laser consiste em três Redes de Bragg, escritas no mesmo núcleo da fibra, centradas em 1532 nm e separadas por 30 cm . As reflectividades das Redes de Bragg eram de 95%, 80% e 60%. Com essa configuração simples de cavidades acopladas, conseguimos uma emissão laser estável e monomodo. Será apresentado também um estudo teórico para descrever o sistema.

Palavras-chave

Laser a Fibra, Cavidades Acopladas, Érbio, Monomodo.

Abstract

Thiesen, E.; Carvalho, I. C. S. Rio de Janeiro, 2004. 53p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In this work, we developed a single mode coupled cavity fiber laser, in which the gain medium is an Erbium Doped Fiber. The two cavities, C_1 and C_2 , were made in the same piece of the doped fiber, with the same concentration of Erbium (Er) and the same refraction index. The Erbium Doped Fiber used was codoped with Germanium (Ge), which increases the photosensitivity of the fiber. Therefore, it was possible to write Bragg Gratings in the same fiber to be used as the cavity mirrors. The laser configuration consists of three Bragg Gratings, written in the core of the fiber, centered in 1532 nm and separated by 30 cm . The Bragg Gratings reflectivities were 95%, 80% and 60%. With this simple configuration of coupled cavities, a stable, single mode laser emission was achieved. A theoretical study to describe the system will also be presented.

Keywords

Fiber-Laser, Coupled-Cavities, Erbium, Single-mode.

Sumário

1	Introdução	10
2	Fibras Ópticas	12
2.1	Perdas em Fibras	12
2.2	Dispersão em Fibras	14
2.2.1	Dispersão Cromática	14
2.3	Redes de Difração	15
2.3.1	Fotossensitividade	15
2.3.2	Redes de Bragg	16
2.3.3	Técnicas de Fabricação	17
2.4	Íons Livres de Terras Raras	19
2.4.1	Fibras Dopadas com Íons de Er^{3+}	20
3	Laser a Fibra	23
3.1	Propriedades Gerais	23
3.2	Os Modos de um Laser	25
3.3	Lasers a Fibra	26
3.3.1	Lasers a Fibra com Cavidades Acopladas	28
4	Laser a Fibra com Cavidades Acopladas	31
4.1	As Equações do Campo Eletromagnético	31
4.2	Polarização do Meio Alargado Homogeneamente	36
4.3	Equações de Taxa	41
5	Resultados Finais	43
5.1	Montagem Experimental	43
5.2	Resultados Experimentais e Discussão	44
6	Conclusões e Perspectivas	53
	Referências	54

Lista de Figuras

2.1	Esquema de uma rede de Bragg numa fibra óptica.	17
2.2	Técnica de fabricação usando um feixe duplo.	18
2.3	Técnica de fabricação usando uma máscara de fase.	18
2.4	Máscara de fase.	19
2.5	Diagrama representativo da emissão laser do íon de Er^{3+} .	21
2.6	Diagrama mostrando os níveis de energia do íon Er^{3+} .	21
3.1	Configuração simples de um laser.	23
3.2	Modos transversais.	26
3.3	Laser a fibra com espelhos externos.	27
3.4	Laser a fibra dopada com íons de terra rara de cavidade única.	28
3.5	Duas configurações de laser a fibra com cavidades acopladas.	28
3.6	Modos das cavidades 1, 2 e acoplada.	29
4.1	Esquema das cavidades acopladas.	41
4.2	Gráfico esperado da simulação com a rotina $Rk4$.	42
5.1	Esquema experimental do laser utilizado.	43
5.2	Laser a fibra dopada com Er^{3+} e Yb^{3+} . Espectro laser de uma cavidade única.	44
5.3	Espectro de luminescência de 30 cm de fibra dopada.	45
5.4	Espectro de absorção de 30 cm de fibra dopada.	45
5.5	Espectro de transmissão da rede de Bragg de 60%.	46
5.6	Espectro de transmissão da rede de Bragg de 80%.	47
5.7	Espectro de emissão da fonte ASE.	47
5.8	Monitoramento por transmissão.	48
5.9	Espectro de reflexão da rede de Bragg de 100%.	48
5.10	Monitoramento por reflexão.	49
5.11	Potência de saída em função de potência de entrada para a cavidade 1.	49
5.12	Potência de saída em função de potência de entrada para a cavidade 2.	50
5.13	Espectro de saída do laser (bombeio $< 80\text{ mW}$).	50
5.14	Espectro de saída do laser (bombeio $> 80\text{ mW}$).	51

