

HÉCTOR BÁEZ MEDINA

ESTUDO DE VIABILIDADE DE INTEGRAÇÃO DE MICRO-LÂMPADAS  
INCANDESCENTES COM FILTROS INTERFERENCIAIS

São Paulo  
2011

HÉCTOR BÁEZ MEDINA

ESTUDO DE VIABILIDADE DE INTEGRAÇÃO DE MICRO-LÂMPADAS  
INCANDESCENTES COM FILTROS INTERFERENCIAIS

Tese apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para obtenção  
do título de Doutor em Engenharia.

Área de Concentração:  
Engenharia Elétrica.

Orientador: Professor Doutor  
Marco Isaías Alayo Chávez

São Paulo  
2011

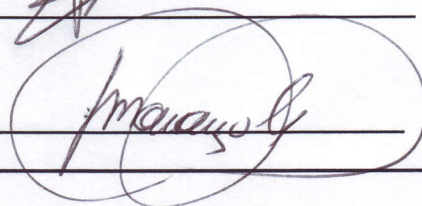
Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 27 de Maio de 2011.

Assinatura do autor



Assinatura do orientador



## FICHA CATALOGRÁFICA

Medina, Héctor Báez

Estudo de viabilidade de integração de  
micro-lâmpadas incandescentes com filtros interferenciais / H.B.  
Medina. -- ed. rev. -- São Paulo, 2011.

102 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrô-  
nicos.

1. Óptica eletrônica 2. Microeletrônica 3. Sistemas microele-  
trônicos I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.  
Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos II. t.

*Dedico este trabalho aos meus Pais e Irmãos com muito carinho*

## AGRADECIMENTOS

São muitas as pessoas que quero agradecer. Primeiramente ao meu orientador Prof. Dr. Marco Isaías Alayo Chávez pela orientação precisa e competente durante o Doutorado.

Aos técnicos da sala limpa, Cristina, João e Antonio Marco, pela ajuda na fabricação dos dispositivos e, em especial, à Teresa, Rita e Alexandre pela autentica orientação e contribuição científica incondicional. Todos eles foram verdadeiros amigos.

À Carolina Carvalho Previdi Nunes pela grande ajuda na caracterização dos dispositivos finais. Ademais, pelo apoio e carinho nas horas difíceis, com os quais me fortaleci para o termino deste trabalho. Ela sempre estará presente na minha vida.

Aos meus amigos Daniel Baraldi, Fernando Miranda e Gustavo Martins, pela grande amizade e por terem me recebido como um membro a mais em suas famílias.

Aos membros da banca julgadora, Profa. Dra. Márcia Carvalho de Abreu Fantini, Prof. Dr. Julio Roberto Bartoli, Prof. Dr. Roberto Koji Onmori e Prof. Dr. Ricardo Rodrigues de França Bento, pelas importantes contribuições ao texto final e pelos conselhos profissionais.

Aos meus amigos no México que a pesar da distância, sempre estiveram presentes.

*We have designed our civilization based on science and technology and at the same time arranged things so that almost no one understands anything at all about science and technology. This is a clear prescription for disaster.*

*Carl Sagan (1934 – 1996)*

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	15
2	ESTADO DA ARTE E OBJETIVO .....	20
	2.1. Estado da Arte .....	20
	2.1.1. Integração de dispositivos ópticos. ....	24
	2.1.2. Fontes luminosas. ....	25
	2.1.3. Filtros interferenciais. ....	27
	2.2. Objetivo.....	28
3	DESCRIÇÃO DO DISPOSITIVO FABRICADO.....	30
	3.1. Materiais e filmes usados. ....	30
	3.1.1. Equipamentos Utilizados.....	31
	3.1.2. Caracterização dos filmes usados. ....	38
	3.2. Micro Lâmpada Incandescente.....	44
	3.3. Filtro Interferencial Multicamadas.....	50
	3.4. Dispositivo. ....	51
4	SIMULAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS FABRICADOS .....	53
	4.1. Resultados para Micro Lâmpadas. ....	53
	4.1.1. Simulação da emissão em micro-lâmpadas.....	53
	4.1.2. Caracterização das micro-lâmpadas.....	55
	4.1.3. Comparação de resultados: Micro-lâmpadas incandescentes.....	56
	4.2. Resultados para Filtros Interferenciais. ....	65
	4.2.1. Simulação de filtros interferenciais.....	65
	4.2.2. Caracterização dos filtros interferenciais.....	71
	4.2.3. Comparação de resultados: Filtros interferenciais. ....	72
	4.3. Resultados para o Dispositivo Integrado. ....	77
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	83
	5.1. Conclusões. ....	83
	5.2. Trabalhos Futuros.....	85
	ANEXO 1.....	90
	ANEXO 2.....	95
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	96

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Perfil do índice de refração do núcleo em uma rede de Bragg e resposta espectral <sup>[40]</sup> .....	28
Figura 3.1 – Configuração triodo do sistema PECVD utilizado. ....	33
Figura 3.2 – Diagrama esquemático do sistema de PECVD utilizado no LME. ....	34
Figura 3.3 – Diagrama esquemático do sistema de Sputtering utilizado.....	37
Figura 3.4 – Esquema indicando os feixes incidente, refletido e transmitido num sistema composto de um filme e um substrato. ....	39
Figura 3.5 – Gráfico dos índices de refração medidos em função dos fluxos dos gases.....	40
Figura 3.6 – Determinação por método óptico do <i>stress</i> residual em filmes depositados por PECVD. ....	42
Figura 3.7 – Gráfico do Stress residual medido em função dos fluxos dos gases. ....	44
Figura 3.8 – Processo de fabricação da micro-lâmpada incandescente. ....	46
Figura 3.9 – Detalhe do filamento da micro-lâmpada.....	47
Figura 3.10 – Máscaras utilizadas na fabricação da micro-lâmpada, a) definição de filamentos de pads, b) definição de cavidades no silício e c) abertura dos contatos elétricos. ....	48
Figura 3.11 – Detalhe das máscaras utilizadas na fabricação da micro-lâmpada. ....	48
Figura 3.12 – Fotografias ópticas das micro-lâmpadas, a) filamento incandescente e b) cavidade no silício.....	49
Figura 3.13 – Distribuição de um conjunto de micro-lâmpadas numa seção da lâmina de silício.....	50
Figura 3.14 – Etapas de fabricação do filtro interferencial multicamadas. ....	51
Figura 3.15 – Micro-lâmpada com filtro depositado sobre vidro.....	52
Figura 4.1 – Arranjo para caracterização das micro-lâmpadas. ....	56
Figura 4.2 – Poder emissivo espectral simulado para um corpo negro ideal a diferentes temperaturas. ....	57
Figura 4.3 – Poder emissivo espectral simulado para um corpo negro a diferentes temperaturas. ....	58



Figura 4.4 – Poder emissivo espectral simulado para a aproximação de corpo cinza a diferentes temperaturas. ....	58
Figura 4.5 – Primeiro caso de intensidade de luz emitida para diferentes valores de corrente aplicada. ....	60
Figura 4.6 – Segundo caso de intensidade de luz emitida para diferentes valores de corrente aplicada. ....	61
Figura 4.7 – Terceiro caso de intensidade de luz emitida para diferentes valores de corrente aplicada. ....	61
Figura 4.8 – Diferentes níveis de emissão de luz de uma micro-lâmpada incandescente. ....	62
Figura 4.9 – Micro-lâmpada com filamento de cromo queimado. ....	63
Figura 4.10 – Diferentes níveis de emissão de luz de uma micro-lâmpada incandescente. ....	63
Figura 4.11 – Diferentes níveis de luz emitida pela micro-lâmpada em vermelho. ....	64
Figura 4.12 – Diferentes níveis de luz emitida pela micro-lâmpada em verde. ....	64
Figura 4.13 – Máxima intensidade de luz emitida pela micro-lâmpada em azul. ....	65
Figura 4.14 – Reflexão e transmissão de uma onda plana na interface entre dois meios semi-infinitos homogêneos e isotrópicos. ....	65
Figura 4.15 – Reflexão e transmissão em uma estrutura estratificada com múltiplas camadas. ....	67
Figura 4.16 – Comparação da transmitância simulada e medida para um filtro com 9 camadas. ....	72
Figura 4.17 – Comparação da transmitância simulada e medida para um filtro com 11 camadas. ....	73
Figura 4.18 – Comparação da transmitância simulada e medida para um filtro com 13 camadas. ....	74
Figura 4.19 – Comparação da transmitância simulada para filtros com 13 camadas com diferentes espessuras das camadas constituintes. ....	75
Figura 4.20 – Comparação da transmitância simulada para filtros com 13 camadas com diferentes combinações de índices de refração. ....	76
Figura 4.21 – Seção da lâmina com dois conjuntos de micro-lâmpadas com filtro integrado. ....	77

Figura 4.22 – Comparação entre a transmitância medida do filtro e a do dispositivo integrado utilizando um filtro com 9 camadas. ....	78
Figura 4.23 – Sensitividade relativa do detector usado para a caracterização do dispositivo integrado. ....	79
Figura 4.24 – Comparação entre a transmitância medida do filtro e a do dispositivo integrado utilizando um filtro com 11 camadas. ....	80
Figura 4.25 – Comparação entre a transmitância medida do filtro e a do dispositivo integrado utilizando um filtro com 13 camadas. ....	81
Figura 4.26 – Espectros de transmitância simulada para luz detectada em diferentes ângulos. ....	82
Figura 5.1 – Conjunto de máscaras de micro-lâmpadas com filamento de 20x20 $\mu\text{m}$ . ....	86
Figura 5.2 – Conjunto de máscaras de micro-lâmpadas com filamento de 20x40 $\mu\text{m}$ . ....	86
Figura 5.3 – Conjunto de máscaras de micro-lâmpadas com filamento de 20x80 $\mu\text{m}$ . ....	87
Figura 5.4 – Micro-lâmpadas triplas com filamentos de três diferentes tamanhos: a) 20x20 $\mu\text{m}$ , b) 20x40 $\mu\text{m}$ , e c) 20x80 $\mu\text{m}$ . ....	88
Figura 5.5 – Cavidade no silício para uma micro-lâmpada tripla. ....	88
Figura 5.6 – Três micro-lâmpadas em paralelo emitindo luz. ....	89

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

