



**Universidade Federal de Minas Gerais**  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Rodolfo Felipe de Oliveira Costa

**Investigação de aspectos topológicos de componentes  
e dispositivos microfabricados em silício**

Belo Horizonte  
2010

Universidade Federal de Minas Gerais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

**Rodolfo Felipe de Oliveira Costa**

**Investigação de aspectos topológicos de componentes  
e dispositivos microfabricados em silício**

**Dissertação** submetida à banca examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Sinais e Sistemas.  
Linha de Pesquisa: Engenharia Biomédica.

**Orientador: Prof. Dr. Davies William de Lima Monteiro**

Belo Horizonte  
Março – 2010

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus pela força, sabedoria e persistência que me proveu para passar por todas as dificuldades ao longo deste período. E a Ana Paula, minha esposa, que sempre esteve ao meu lado me apoiando e me aconselhando.

Agradeço ao meu orientador pela paciência que demonstrou durante a produção deste trabalho e aos membros do grupo de pesquisa de lentes de contato que contribuíram de maneira significativa para a realização deste trabalho.

Agradeço ainda ao CNPq responsável pelo financiamento de meus estudos.

Agradeço também aos técnicos Eudóximo e Márcia do CCS que nos acompanharam durante os processos de corrosão realizados em Campinas.

E finalmente agradeço a minha família e a todos que de alguma forma contribuíram e me apoiaram durante a confecção deste trabalho.

## Resumo

Este trabalho teve como principal objetivo investigar a rugosidade na superfície de lâminas de silício submetidas à corrosão com KOH, e em estruturas e componentes micro-ópticos produzidos utilizando-se a técnica de formação de calotas esféricas por corrosão anisotrópica de silício com KOH. O desempenho e a confiabilidade de dispositivos e componentes micro-fabricados estão fortemente relacionados à rugosidade, sendo seu entendimento e controle de extrema relevância para o sucesso e o avanço de micro sistemas. Sistemas micro-fluídicos, eletromecânicos e ópticos são exemplos de onde a rugosidade resultante dos processos de micro-fabricação tem se mostrado um fator limitante para uma miniaturização ainda maior destes dispositivos e para seu aumento de desempenho.

Foram abordados os conceitos mais relevantes para o entendimento do processo de corrosão seletiva do silício, da rugosidade e da técnica de formação de calotas esféricas por corrosão anisotrópica de silício com uma solução aquosa de KOH. Equipamentos utilizados para medição da rugosidade, parâmetros que afetam a rugosidade, bem como uma descrição detalhada dos processos utilizados para a produção de estruturas também são contemplados ao longo deste texto.

Pudemos demonstrar que os componentes produzidos a partir da técnica de formação de calotas esféricas são viáveis para aplicações em óptica, micro-óptica, aplicações oftalmológicas e para aberrometria, visto que, para essas aplicações os valores de rugosidade devem ser inferiores a  $\lambda/10$ , onde  $\lambda$  é o comprimento de onda da luz utilizada, normalmente entre 550 nm e 850 nm. Demonstramos a aplicação da técnica para a produção de rede de microlentes de silício para comprimentos de onda maiores que 1100 nm já na faixa do espectro infravermelho, visando o aumento da eficiência de câmeras para o infravermelho.

São apresentadas ainda, ao final do trabalho, algumas sugestões para a redução da rugosidade em processos de produção de micro estruturas baseados em corrosão anisotrópica de silício.

## Abstract

The main goal of this work was the investigation of the roughness on the surface of silicon wafers subjected to etching with a KOH aqueous solution, as well as on microstructures and micro-optical components produced a KOH etching technique that yields smooth spherical pits. The performance and reliability of devices and micro-fabricated components is strongly related to roughness, the understanding and control of which is of utter importance to the success and advancement of micro-systems. Micro-fluidic, electro-mechanical and optical systems are fields where micro-manufacturing roughness produced by the processes has been a limiting factor for further miniaturization of these devices and to the enhancement of their performance.

This dissertation covered the most relevant concepts related to the selective etching of silicon, the roughness and the technique for the achievement of spherical cavities by anisotropic etching of silicon with KOH. Equipment used to measure roughness, parameters that affect the surface roughness, and a detailed description of the process used to produce structures are also referred to throughout this text. We could demonstrate that the components produced by an array or superposition of spherical cavities are feasible for applications in optics, micro-optics, and ophthalmic wavefront analysis, since for these applications the values of roughness should be lower than  $\lambda/10$ , where  $\lambda$  is the wavelength of light used, typically between 550 nm and 850 nm. We demonstrate the technique to produce a silicon microlens array for wavelengths above 1100 nm, already in the range of the infrared spectrum, aiming at an enhanced performance of infrared cameras. A number of suggestions for the reduction of the surface roughness during the microstructure etching steps are also presented.