“Oficina de Microfabricação: Projeto e Construção de CI´s MOS”

Livro Texto e Laboratório

CCS e FEEC
UNICAMP

Janeiro de 2002

Coordenador: Prof. Jacobus W. Swart

Sumário

1. Evolução de Microeletrônica a Microssistemas
2. Conceitos Básicos para Semicondutores
3. Semicondutores
4. Junções em Semicondutores
5. Capacitor MOS
6. Transistor MOSFET
7. Escalamento e Limites dos Dispositivos MOS
8. Integração de Processos: CMOS em Si
9. Estruturas de Dispositivos Semicondutores
10. Plasma Etching
11. Deposição de Filmes Finos
12. Conceitos de Vácuo.
13. Projeto de Processos e Dispositivos
14. Microssistemas: Fabricação e Aplicações
15. Introdução à Tecnologia LIGA
16. Projeto de CI´s MOS.
17. Descrição do Processo MOS do CCS
18. Descrição do Chip Didático CCS2
19. Descrição das Medidas dos Dispositivos
20. Elaboração de Relatório.
21. Enquête de Opinião.

PREFÁCIO

O curso “Oficina de Microfabricação: Projeto e Construção de CI’s MOS” foi oferecido pela primeira vez em janeiro de 1999, como uma disciplina do Curso de Extensão da UNICAMP, por um esforço conjunto do Centro de Componentes Semicondutores, CCS, e da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Desde então, o curso vem sendo repetido periodicamente em nível de disciplina de extensão (FEE107), bem como, em nível de disciplina de graduação (EE941) e de pós-graduação (IE326). Trata-se de disciplina com 2/3 de atividades práticas em laboratório e 1/3 de atividades em sala de aula. Ao todo, o curso é oferecido de 4 a 5 vezes ao ano, atendendo assim de 50 a 60 alunos ao ano.

Gostaríamos de expor em primeiro lugar os motivos que nos levaram a realizar este trabalho, e/ou os resultados que dele esperamos.

A eletrônica tornou-se a área econômica mundial mais volumosa, com um mercado global acima de US$ 1 trilhão. Boa parte deste mercado é de componentes semicondutores, com um mercado da ordem de US$ 300 milhões (no ano 2000). A área tem crescido a taxas anuais médias de 16% ao longo das últimas 4 décadas, fenômeno este inigualável em qualquer outra área. Toda esta evolução e crescimento econômico são baseados na tecnologia de fabricação de circuitos integrados, ou seja, dos chips. Um relatório da associação americana de indústrias de semicondutores, SIA, apresenta os seguintes dados marcantes em seu relatório de 1997:

- O valor agregado de produtos semicondutores é de 59%, versus 21% para a indústria automobilística.
- Indústria de semicondutores emprega 1,5 milhões de pessoas no USA, com soma de salários de US$ 50 bilhões e pagamento de impostos de US$ 18 bilhões.
- A taxa de crescimento de emprego na indústria de semicondutores cresceu em média 4,3 % no período entre 1992 a 1996, versus 0,5 % na média das outras indústrias de manufatura.

Atualmente temos chips incorporados em um enorme número de produtos, incluindo todos os sistemas eletrônicos de telecomunicações e de informática, satélites, impressoras, controle de processos industriais, robótica, automóveis, aviões e outros meios de transporte, utensílios domésticos, entretenimento, educação, agricultura, medicina, etc. Produtos com inovação e competitivos devem incorporar uma certa “inteligência”, ou seja, circuitos integrados. Desta forma, um país moderno e competitivo no século 21, não pode prescindir de fabricar bens de eletrônica e de microeletrônica em particular.

A tecnologia de fabricação de circuitos integrados é baseada em técnicas de microfabricação, que foram desenvolvidas para este fim. Atualmente estas mesmas técnicas vêm sendo usadas para um número grande de outras aplicações, tais como dispositivos e circuitos tipo:

a) optoeletrônicos,
b) fotônicos,
c) microssensores,
d) microatuadores,
e) micromecânicos,
f) estruturas para biologia e medicina,
g) montagem de placas de circuitos impressos modernos.

Vários destes tipos de dispositivos e circuitos, constituem os microssistemas ou MEMS/MOEMS (Micro-Opto-Electro-Mechanical-Systems) e são responsáveis pela nova revolução emergente, chamada de revolução da automatização total (produção automatizada, casas inteligentes, carros inteligentes, etc....).

Dada a importância econômica dos circuitos integrados e as novas aplicações para as mesmas técnicas de microfabricação, é fundamental o ensino das mesmas em grande escala. Quanto mais pessoas conhecerem o tema, resultarão os seguintes benefícios:

a) Aumento da probabilidade de iniciativas industriais de produtos especiais ou novos produtos em nichos de mercados. Estes nichos podem ser ocupados por empresas menores, inclusive de origem local.
b) Complemento ao nível de projetistas de circuitos integrados, o que é fundamental para o desenvolvimento de novos produtos, com maior valor agregado. O conhecimento profundo dos processos construtivos de CI's não é uma condição necessária para um projetista, porém ajuda. O entendimento do processo de fabricação, das origens das regras de projeto, da física e dos modelos dos dispositivos, permitirá o projetista "criar" mais.
c) Constitui uma das condições e incentivos para a vinda de empresas multinacionais de produção de chips em larga escala.
d) Permite ocupar oportunidades não atendidas pelos países do primeiro mundo, por falta de mão de obra em nível de engenharia eletrônica e de computação. Segundo estimativa da SEMI, existe uma demanda mundial anual de 200 mil novos engenheiros em microeletrônica, enquanto que as universidades formam da ordem de 100 mil engenheiros anualmente. Contatos pessoais na Europa e USA confirmam a grande falta de engenheiros e pesquisadores para atender a demanda de desenvolvimento nestes países.

Todo desenvolvimento de tecnologia de ponta só é possível com a disponibilidade de recursos humanos de qualidade e em grande quantidade. Muitos países, conscientes deste fato, têm organizado programas de ensino para suprir esta demanda para áreas específicas e prioritárias. Só para mencionar um país, citamos o programa da França. A França possui um programa de ensino de microeletrônica, financiado pelos ministérios de educação e de indústria, com a participação aberta a todas as universidades do país. Por meio deste programa, as instalações dos laboratórios mais avançados, disponíveis em algumas poucas universidades ficam disponibilizadas para serem usadas no oferecimento de disciplinas de microeletrônica para alunos das outras universidades. Este programa treina mais de 1000 alunos anualmente, durante a década de 90.

Baseado na importância do ensino de microeletrônica, no modelo acima da França e no fato que poucas universidades no país possuem instalações completas para oferecimento de disciplinas práticas de microfabricação, o CCS, junto com a FEEC da UNICAMP vem oferecendo o curso "Oficina de Microfabricação: Projeto e Construção de CI´s MOS", em nível de extensão (aberto a alunos de outras universidades), bem como em nível de graduação e pós-graduação (aberto a alunos da UNICAMP).

A Quem se Destina:

- Alunos de graduação de 3º a 5º ano de cursos de engenharia, física, química e tecnologia.
- Alunos de pós-graduação de cursos de engenharia, física, química e biologia
- Professores universitários, de ensino técnico e até de 2º grau.

Carga Horária:

- FEE107- de extensão: duas semanas em período integral, com total de 80h aula, oferecido nos períodos de férias escolares de janeiro e de julho, ou de acordo com solicitações.
- EE941 – de graduação, 75 h, com 5 h semanais ao longo do 2º semestre do ano letivo.
- IE316 – de pós-graduação, 60 h, com 4 h semanais ao longo do 1º semestre do ano letivo.

Ementa Resumida:

Revisão de teoria de semicondutores e de dispositivos MOS; descrição dos processos de fabricação, projeto de dispositivos e blocos básicos de CI´s MOS, fabricação de um chip teste contendo dispositivos isolados e um circuito básico, medidas de caracterização de materiais, processos, dispositivos e do circuito fabricado. Adaptações à ementa do curso podem ser feitas para grupos específicos de alunos, dependendo da sua formação e interesse. Durante as aulas de laboratório de microfabricação, os alunos participam efetivamente da fabricação de lâminas de Si contendo um chip com estruturas, dispositivos e blocos de circuitos de teste. As aulas são divididas da seguinte forma nas seguintes atividades, como pode ser observado no calendário de horários:

Atividade	**Tempo total**
Seminários	26 h
Laboratório de microfabricação	20 h
Laboratório de medidas de dispositivos	20 h
Laboratório de simulações e CAD	8 h
Visitas a laboratórios: (LPD/IFGW e ITI)	6 h

Número de alunos por turma e freqüência dos cursos:

- Máximo 12 alunos por turma (limitação dos equipamentos de laboratório)
- Freqüência de cursos: até 4 a 5 vezes ao ano.

Agradecimentos:

Agradecemos em primeiro lugar a todos os colegas, pesquisadores e funcionários do CCS, que tornaram o oferecimento do curso possível. Agradecemos aos palestrantes convidados, Dr. Luiz Carlos Moreira e Dr. Luiz Otávio S. Ferreira e aos colaboradores do ITI e do LPD, pela disponibilidade das visitas aos seus laboratórios. Somos gratos a todos que contribuíram para a realização do curso, em especial, aos alunos participantes, pelo interesse e entusiasmo. São estes que nos motivam e nos fazem acreditar nas perspectivas de uso deste conhecimento, em benefício da sociedade, que nos financia. Somos gratos à CAPES/PADCT e à FAPESP, pelos auxílios financeiros recebidos.

Jacobus W. Swart
Coordenador
Campinas, 15 de janeiro de 2002.