



SEQUÊNCIA DE FABRICAÇÃO DE TRANSISTORES NMOSFETS COMO UMA ESTRATÉGIA DE ENSINO-APRENDIZAGEM EM MICROELETRÔNICA

Katia Regina Akemi Sasaki – katia@lsi.usp.br

Ricardo Cardoso Rangel – rrangel@lsi.usp.br

João Antonio Martino – martino@lsi.usp.br

Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Sistemas Eletrônicos.
Avenida Professor Luciano Gualberto, trav 3, n.158.
CEP: 05508-010 – São Paulo – São Paulo.

Resumo: *Este trabalho tem como objetivo analisar as técnicas de ensino-aprendizagem utilizadas na disciplina PSI2643 – Laboratório de Fabricação de Dispositivos em Microeletrônica, oferecida no curso de graduação no departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. As respostas dos alunos foram obtidas e analisadas por meio de um questionário de avaliação sobre a disciplina, das médias finais dos alunos e de alguns comentários de um dos técnicos envolvidos na disciplina, além do plano da disciplina. Os resultados foram bastante positivos tanto com relação à estratégia utilizada, bem como com respeito à contextualização dentro do curso de engenharia elétrica com ênfase em sistemas eletrônicos.*

Palavras-chave: *Estratégia de ensino-aprendizagem, Questionário disciplinar, Fabricação de dispositivos semicondutores, Microeletrônica.*

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a maioria dos projetos termina por produzir um circuito integrado dedicado, o que leva a necessidade dos alunos de graduação em engenharia elétrica conhecer mais sobre os componentes presentes dentro de um circuito integrado (C.I.). (MARTINO, 2013)

Além disso, no Brasil há uma carência de recursos humanos capacitados na área de microeletrônica, de forma que possa contribuir para a fabricação dos chips aqui no Brasil ao invés de importar, o que melhoraria a economia do país. Segundo (ABINEE, 2013), a balança comercial do setor eletroeletrônico mostra um saldo de US\$ 27,17 bilhões negativos no período de janeiro a setembro de 2013.

Para suprir esta carência, torna-se necessário formar pessoal capacitado para tal e, conseqüentemente, aplicar um processo de ensino-aprendizado eficiente, bem como, uma boa motivação dos alunos a seguirem esta área. Além da motivação, o processo de aprendizagem



também requer uma boa organização, a definição de um plano de disciplina, o desenvolvimento das atividades de aprendizagem de forma a atingir os objetivos educacionais dos domínios cognitivo e afetivo (DAVIES, 1973), além de uma estratégia de avaliação do processo de aprendizagem eficiente. (MASETTO, 2003).

Segundo (MASETTO, 2003) o processo de avaliação compreende pelo menos três elementos: o aluno, que procura adquirir aprendizagens; o professor, cujo papel é o de colaborar para que o aluno consiga seu intento; e um plano de atividades que apresente condições básicas e suficientes que, sendo realizadas, permita ao estudante atingir seu objetivo. A avaliação é parte integrante do processo ensino-aprendizagem e deve ser realizada continuamente, avaliando tanto os conhecimentos do aluno, como as competências, habilidades, atitudes e o processo de desenvolvimento do aluno com base nos objetivos que ambos, professores e alunos, definiram no plano da disciplina.

A estratégia de ensino-aprendizagem proposta pelo Professor Doutor João Antonio Martino e Professor Doutor Marcelo Nelson Páez Carreño, aplicada à disciplina PSI2643 - Laboratório de Fabricação de Dispositivos em Microeletrônica apresenta um grande diferencial, aulas práticas logo após as teóricas e a apresentação de uma sequência de fabricação de dispositivos em microeletrônica, juntamente com as aulas expositivas.

1.1. A disciplina de Laboratório de Fabricação de Dispositivos em Microeletrônica

O Laboratório de Fabricação de Dispositivos em Microeletrônica é uma disciplina optativa, oferecida aos alunos de graduação em sistemas eletrônicos da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

As aulas teóricas foram ministradas pelos professores doutor João Antonio Martino e doutor Marcelo Nelson Páez Carreño e as aulas práticas pelos técnicos que operavam os equipamentos e explicavam o que estava acontecendo, sendo o principal deles o especialista de laboratório Ricardo Cardoso Rangel, que acompanhava os alunos até cada área do laboratório, além de operar alguns dos equipamentos e explicar seu funcionamento.

Esta disciplina, a rigor, não tem pré-requisitos, ou seja, o aluno não precisa cursar outra matéria antes para se matricular nela, no entanto, para que seu aproveitamento seja melhor, algumas outras disciplinas são úteis. É o caso da disciplina, também optativa, PSI2461 – Processos Básicos em Microeletrônica, onde são apresentados e comparados vários processos utilizados em microeletrônica, porém de forma teórica e focada mais nos processos em si.

Segundo o plano da disciplina e a sua ementa (MARTINO, 2013), esta disciplina tem como objetivo dar aos alunos a oportunidade rara no Brasil de acompanhar de perto no laboratório as principais etapas de fabricação de dispositivos em microeletrônica, de forma que ele participe do projeto e da fabricação de um dispositivo integrado básico e, assim, entender o que há dentro de um C.I.

Desta forma, o objetivo do aluno é entender como, as várias etapas de processo, apresentadas em outras disciplinas somente teóricas (como por exemplo, Processos Básicos de Microeletrônica - PSI2461), resultam no dispositivo que há dentro de um C.I., dispositivo este que o acompanhará por toda a vida de engenheiro.

2. MÉTODO DE ENSINO PROPOSTO

A proposta de ensino analisada e as estratégias de avaliação serão descritas nesta seção.



2.1. Estratégias de ensino-aprendizagem e de avaliação utilizadas.

Sendo uma disciplina optativa de graduação, os professores decidiram não aplicar atividades fora da sala de aula, apenas em alguns casos em que não tenha sido possível terminá-la durante a aula. Com relação às atividades dentro da sala de aula, podemos listar as seguintes estratégias:

- Aulas expositivas;
- Participação em aula;
- Questionário ao final de cada aula
- Prova vinculada ao conteúdo da matéria;

Dentre as quais, as 2 primeiras podem ser consideradas de estratégias para o processo de aprendizagem e as 2 últimas para o de avaliação.

Dois pontos devem ser destacados no processo de ensino- aprendizagem: as aulas práticas logo após as aulas teóricas e o processo de fabricação em companhia dos alunos.

2.2. Aulas teóricas seguidas de aulas práticas como estratégia de ensino-aprendizagem.

As aulas foram divididas em três partes. Na primeira, com aulas expositivas teóricas, os professores contextualizavam a etapa de processo que será vista na segunda parte daquela aula dentro do objetivo final: a obtenção do dispositivo final. A introdução teórica necessária para o entendimento daquela aula também é apresentada nesta parte da aula.

Alguns aspectos importantes a respeito das aulas expositivas é que, embora fossem sempre apresentação de slides, eles eram preparados em sua maioria com muitas imagens, além de serem bastante exploradas pelos professores.

A segunda parte consistia na visita ao laboratório e acompanhamento da etapa de fabricação, projeto, a partir de simulações, ou resolução de exercícios. Na próxima subseção serão apresentadas maiores informações a respeito.

A terceira e última parte refere-se à aplicação do questionário ao final de cada aula.

2.3. Processo de fabricação como estratégia de ensino-aprendizagem.

Após as explicações das aulas teóricas, os alunos são levados ao laboratório em que a etapa do processo será realizada. Nessa parte da aula, as explicações são mais focadas no funcionamento dos equipamentos de modo que eles sejam utilizados dentro da sequência de fabricação do dispositivo. Como forma de avaliação, os alunos tomam nota, medem e/ou calculam parâmetros que caracterizem aquele procedimento, para que possam completar um relatório, a ser entregue ao final da aula.

Um aspecto relevante nas aulas práticas é sobre a participação em aula. Algumas vezes os técnicos permitiam que os alunos fizessem alguns procedimentos simples, como a clivagem de algumas lâminas, a medida da resistência de folha e olhar no microscópio o estado da lâmina naquele momento. No entanto, esta participação é limitada, por questões de segurança. Construir dispositivos eletrônicos envolvem uma série de etapas perigosas, contendo produtos químicos nocivos à saúde. Devido a isso, em muitos casos os alunos apenas observam a atuação do técnico especializado naquela atividade.

2.4. Critério de avaliação

A média era calculada pela equação (1):

$$M = \frac{T + P_3}{2} \quad (1)$$

Onde:

- T é a média dos questionários aplicados durante as aulas
- P₃ é a nota da prova teórica final.

O relatório e os questionários ao final de cada aula versavam a respeito das atividades realizadas nos laboratórios, sendo assim, uma forma de verificar a participação do aluno, além de ser um meio de aplicar uma avaliação contínua na disciplina. Vale ressaltar que, como a turma era de, no máximo, 12 alunos, quando o professor devolvia esses questionários, era possível que ele conversasse com cada aluno individualmente, explicando seus erros.

2.5. Ferramentas utilizadas – Moodle, simulador MINIMOS e Laboratório.

Como ferramentas de auxílio ao processo de ensino e aprendizagem desta disciplina, podemos citar o Moodle, um ambiente virtual de aprendizagem, utilizado aqui como meio de comunicação entre professores e alunos e um repositório dos materiais utilizados nas aulas teóricas (os slides), o plano da disciplina e as planilhas de notas. Também foi utilizado o programa MINIMOS, um simulador de processo e de dispositivo para as aulas de projeto e caracterização do dispositivo.

Além disso, os equipamentos de microfabricação disponíveis nos laboratórios são ferramentas indispensáveis em uma disciplina como esta, pois são eles que permitem aos estudantes acompanhar a fabricação de dispositivos microeletrônicos.

3. RESULTADOS E ANÁLISES

Foram analisados o plano de disciplina, o questionário e seus resultados e uma comparação com o PPP do curso de sistemas eletrônicos da escola politécnica da USP.

3.1. Plano de disciplina

Segundo (MASETTO, 2003), o plano da disciplina é um documento de comunicação entre o professor e o aluno acerca das ações, tanto do aluno como do professor, que vão ser realizadas em função dos objetivos educacionais e dos conteúdos que se deseja transmitir. Estas ações, por sua vez, são dependentes do processo de ensino-aprendizagem, dessa forma, tanto o professor como os alunos devem participar na confecção deste documento.

Esta é a primeira crítica a ser feita: como aluna da primeira turma desta disciplina, apesar da programação ser difícil de alterar, pois depende da disponibilidade do laboratório, dos técnicos e do processo de fabricação como um todo, os alunos foram apenas informados de que aquele seria o plano de ensino. A participação do aluno no plano foi feita, de certa forma, apenas ao longo da disciplina, uma vez que, com poucos alunos, as dúvidas puderam ser sanadas na hora e os assuntos mais interessantes para os alunos, discutidas ali mesmo; porém, como um instrumento de comunicação entre alunos e professores, os alunos também deveriam ser ouvidos para um melhor processo de aprendizagem.

A partir daqui, esta seção analisará o plano de disciplina, seguindo os itens presentes em (MASETTO, 2003): identificação, objetivos, conteúdo programático, técnicas, processo e técnicas avaliativas, cronograma e bibliografia.



Identificação

Na identificação faltou o nome do curso, o período letivo e número de alunos por classe. Estas informações foram encontradas na ementa da disciplina (MARTINO, 2013).

Data, semestre e ano civil: 1º semestre de 2013 (data está ao longo do cronograma).

Nome da instituição: Universidade de São Paulo.

Nome da faculdade: Escola Politécnica.

Nome do curso: Engenharia de Sistemas Eletrônicos.

Nome da disciplina: PSI2643 – Laboratório de Fabricação de Dispositivos em Microeletrônica.

Nome dos professores Responsáveis: Professor Doutor João Antonio Martino e Professor Doutor Marcelo Nelson Paez Carreño.

Período Letivo: Matutino.

Número de alunos por classe: 12.

Carga horária total: 60h (3h30 semanais)

Objetivo (ementa)

Observa-se claramente uma organização, motivação e justificativa da disciplina. Ao longo das aulas, no material disponibilizado no Moodle, encontramos os objetivos de conhecimento aula a aula, contudo, os objetivos das áreas de habilidades, afetiva e de valores ou atitudes, não estão presentes. Uma primeira proposta para esses objetivos, baseada nos questionários ao final de cada aula, encontra-se a seguir:

Conhecimentos:

1. Introdução ao curso; história da microeletrônica; componentes em circuitos integrados:
2. Sequência de fabricação de dispositivos MOS a ser utilizada no curso:
3. Projeto e Análise da sequência de fabricação de dispositivos MOS:
4. Caracterização e limpeza de lâminas de silício:
5. Oxidação térmica e deposição de SiO₂ (óxido de silício) por PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition):
6. Fotogração:
7. Técnica CVD e dopagem do silício policristalino.
8. Implantação Iônica
9. Técnicas de metalização - evaporação
10. Caracterização elétrica – parte 1 (capacitor MOS)
11. Caracterização elétrica – parte 2 (transistor MOS)
12. Introdução a dispositivos MOS avançados

Habilidades:

1. Identificar as estruturas e os perfis de um dispositivo e de um circuito
2. Explicar a utilidade de cada processo na fabricação de um circuito integrado
3. Explicar em que consiste cada etapa do processo de fabricação de um circuito integrado.
4. Saber os parâmetros principais de um dispositivo (capacitor e transistor MOS)
5. Caracterizar um dispositivo (capacitor e transistor MOS)
6. Aplicar conhecimentos adquiridos em outras disciplinas

Afetiva

1. Parte teórica:
 - a. Ter consciência da presença de outras pessoas.

- b. Prestar atenção à aula, respeitando as opiniões dos outros.
 - c. Responder questões além daquelas que lhe são atribuídas.
 - d. Demonstrar interesse pelo assunto.
 - e. Ter consciência da importância do conteúdo da aula e das tarefas que lhe são atribuídas na sua formação na engenharia.
2. Parte prática:
- a. Ter consciência das regras do laboratório e segui-las.
 - b. Ter consciência da importância do conteúdo da aula e das tarefas que lhe são atribuídas na sua formação na engenharia.
 - c. Ter consciência da presença de outras pessoas.
 - d. Prestar atenção à aula, respeitando as opiniões dos outros.
 - e. Responder questões além daquelas que lhe são atribuídas.
 - f. Demonstrar interesse pelo assunto, procurando outras referências.

Valores e atitudes

1. Preferência de um assunto a outro.
2. Se comprometer a estudar mais para recuperar alguma deficiência que o aluno tenha.
3. Comprometimento com suas responsabilidades
4. Valorizar a importância da disciplina para sua formação na engenharia.
5. Demonstrar uma postura ética.
6. Comprometimento com sua conduta dentro do laboratório.

Conteúdo programático

No plano da disciplina há um cronograma, porém, apenas com os temas distribuídos nas datas das aulas. Na ementa da disciplina, esses temas estão presentes de forma um pouco mais completa, ou seja, também estão presentes como cada tópico está relacionado com o objetivo final do curso, porém as indicações de referências de cada tema não estão presentes. Novamente, os objetivos aqui mencionados enfatizam mais os objetivos de conteúdo.

Técnicas e avaliação

As estratégias utilizadas em cada aula não estão presentes. Já as de avaliação, o cálculo da média está presente no plano da disciplina, bem como a descrição de como os alunos serão avaliados. Na ementa, encontramos os métodos (prova, relatórios e listas de exercícios, que são os questionários de final de aula), o critério (a nota mínima de 5,0 para que o aluno seja aprovado) e as normas de recuperação (uma prova escrita).

Após análise do questionário aplicado ao final da aula, observa-se que esta também pode ser considerada uma boa estratégia para a avaliação das habilidades. Se o professor avaliar os comportamento e atitudes de cada aluno, a partir da sua participação na aula, o professor poderá avaliar se os objetivos afetivos e de valores e atitudes estão sendo atingidos.

Cronograma

O cronograma está presente, com as datas em que cada tópico será abordado e bem dividido entre as aulas em que os alunos precisarão se locomover para o laboratório e as que serão ministradas na própria sala de aula.



Bibliografia

No plano da disciplina e na ementa, estão presentes no total 4 referências, porém, não estão discriminados dentro dos tópicos abordados na disciplina e nem divididos em “bibliografia básica” e “bibliografia complementar”. A divisão deveria ser, então:

Bibliografia básica:

1. J.A.martino, M.A. Pavanello e P.B. Verdonck; “Caracterização Elétrica de Tecnologia e Dispositivos MOS”, Ed. Pioneira Thomson Learning Ltda., 2003.
2. S.M.Sze; “VLSI Technology” International Student Edition, Ed. McGraw-Hill Book Co., 1984.

Bibliografia complementar:

3. João Antonio Martino – “Processo de Fabricação de um Circuito CMOS Cavidade Dupla”, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da USP, 1988.
4. A.S. Sedra and K.C. Smith; Microeletrônica, Pearson, 2007, (tradução da 5ª edição em inglês).
5. Artigos diversos

Uma proposta para o plano da disciplina com relação aos 4 últimos itens citados anteriormente encontra-se no ANEXO 1.

3.2. Questionário

O próprio professor, na última aula antes da prova, pede aos alunos que respondam a um questionário. Observa-se que o questionário faz uma divisão entre a parte prática (P) e teórica (T), analisando itens como didática, conteúdo, professores, técnicos e equipamentos. Pelas perguntas, percebe-se uma preocupação em avaliar a influência desta disciplina nos conhecimentos do aluno na área de microeletrônica, preocupação em melhorar os pontos fracos para as futuras turmas, além de uma questão bem abrangente, deixando o aluno fazer quaisquer comentários que ele achar pertinente.

3.3. Respostas dos alunos – questionário e médias

Como meio de se analisar a satisfação dos alunos e seu aprendizado, adotou-se os critérios dos resultados do questionário de avaliação da disciplina das turmas de 2012 e 2013 e as médias da turma de 2013.

Avaliação dos alunos

A partir dos dados coletados das avaliações dos alunos com o questionário, puderam-se levantar os gráficos da figura 1, com a porcentagem dos alunos que avaliaram entre “muito bom”, “bom”, “razoável”, “ruim” ou “muito ruim” os quesitos “conteúdo teórico”, “conteúdo prático”, “didática teórica”, “didática prática”, “professores”, “técnicos” e “equipamentos”.

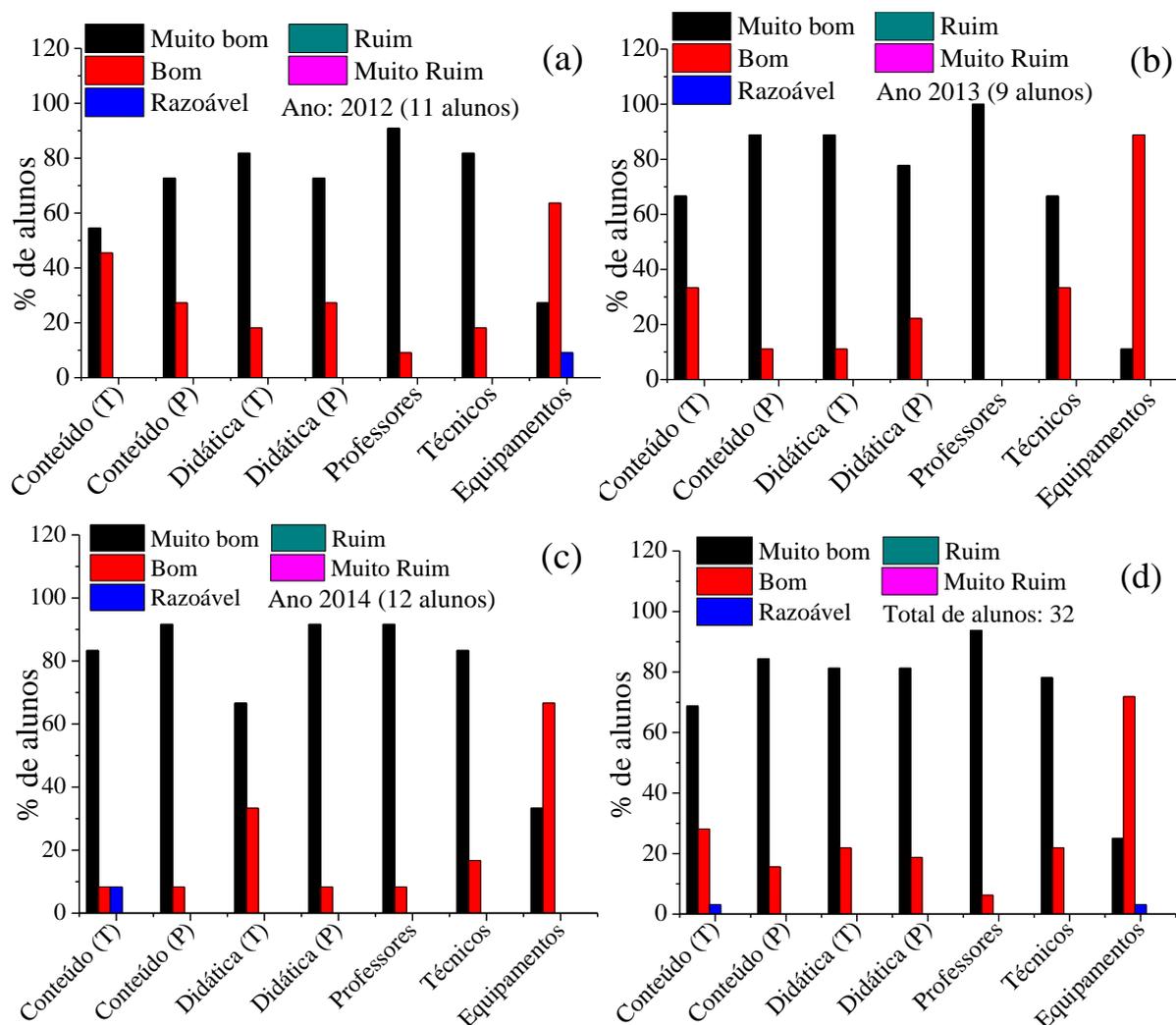


Figura 1 – Avaliação dos alunos das turmas de 2012 (a), 2013 (b), 2014 (c) e o total (d).

Observa-se que, em todas as turmas, os alunos estão bem satisfeitos com o método utilizado, atribuindo conceitos “muito bom” ou “bom”, tendendo ao “muito bom”. Apenas na parte dos equipamentos a avaliação tende para o “bom”, como mostra a Figura 1-d.

Comparando-se as avaliações das 3 turmas (Figura 1-a, 1-b e 1-c), percebe-se, no geral, uma leve melhora a cada ano. Este comportamento, segundo o técnico especialista Ricardo Rangel, deve-se provavelmente, ao perfil das turmas de 2013 e 2014 apresentarem um crescente interesse na área, uma vez que nenhuma alteração significativa nas técnicas de ensino foi realizada.

Comentários mais significativos dos alunos

O principal ponto positivo levantado pelos alunos foi, de longe, a interação entre a parte prática, logo após a parte teórica. A parte prática foi o ponto chave para o entendimento do conteúdo da microeletrônica. Tópico abordado, em outras disciplinas, apenas de forma teórica ou separadamente do objetivo final: a construção dos dispositivos. Segundo os alunos, essa interação, além do próprio conteúdo, leva a um maior estímulo para assistir às aulas.



Outra estratégia boa foi a utilização de muitas imagens que auxiliou na visualização do que e como acontece cada etapa de processo. Por várias vezes o curso foi elogiado pela organização e didática dos professores sendo até considerada um exemplo a ser seguido por outros cursos, além de ser proposto para ser oferecido em ambos os semestres. Os alunos acharam interessante também a abordagem sobre o estado da arte da área estudada (transistores 3D, MEMS etc).

Também foi positivamente citado que o objetivo de cada tópico era explicitado no início de cada aula para, então, entrar nos detalhes do conteúdo em si. Elogiaram a interdisciplinaridade, pois houve um melhor entendimento de tópicos abordados em diferentes disciplinas, como elas se relacionam e a razão e o modo daquilo acontecer.

Como pontos negativos, a maioria dos alunos reclamou dos equipamentos que eram antigos e desatualizados. Entretanto, foi mencionado que os mesmos eram suficientes para fins didáticos. Muitos também levantaram a falta de participação dos alunos no processo, uma vez que estes apenas acompanharam os processos e não puderam manusear os equipamentos.

Alguns alunos criticaram a didática dos especialistas de laboratório (algumas vezes faltou clareza e algumas vezes houve insegurança nas explicações), mas reconhecem que eles foram atenciosos e dedicados e que houve boa interação entre eles (especialistas e alunos).

Sugeriram também que os enunciados dos testes (os questionários aplicados ao final de cada aula) fossem disponibilizados no site da disciplina para que os alunos pudessem lembrar os principais aspectos abordados no laboratório. Também sugeriram listas de exercícios e atividades extraclasse para que o aluno tenha uma melhor ideia do que vai ser dado na aula.

Os alunos pediram mais aulas de caracterização e sobre os aspectos físicos na simulação. Também reclamaram do simulador ser antigo. Indicaram também mais aulas sobre as outras estruturas fabricadas nas lâminas, sobre caracterização de circuitos, de novos processos e melhor explicação dos diferentes processos CVD. Pediram também maior familiarização com o circuito a ser fabricado e mostrar a relação entre as ferramentas de projeto de C.I.s com as etapas (máscaras).

Médias

A tabela 1 mostra as notas e médias finais dos alunos da turma de 2013.

Tabela 1 – Notas e médias dos alunos da turma de 2013.

Cód	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T	P3	M
1	10	10	10	9	10	10	10	F	10	10	10	9,0	9,0	9,0
2	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	9	9,8	9,5	9,7
3	10	10	10	10	8	8	8	10	9	10	9	9,3	4,9	7,1
4	F	9	10	8	9	9	9	10	10	10	9	8,5	7,3	7,9
5	10	10	10	10	8	10	10	10	8	5	10	9,2	8,7	8,9
6	10	9	10	F	9,0	10	9	10	10	10	9	8,7	8,0	8,4
7	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	9,9	9,0	9,5
8	10	9	10	10	9	10	10	10	10	10	10	9,8	9,0	9,4
9	F	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	9,0	10,0	9,5
10	10	8	10	10	7	F	F	F	F	F	F	4,1	0,0	2,0
Med	10,0	9,5	10,0	9,7	8,9	9,7	9,3	10,0	9,7	9,4	9,6	8,7	7,5	8,1

A tabela 1 mostra que todos os que fizeram o curso até o final demonstraram um bom desempenho, com notas acima de 7,0 (onde o critério de aprovação do curso é a média ser



acima de 5,0). A média geral da turma foi de 8,1, o que demonstra que a maioria deles obteve um excelente desempenho, em todas as atividades propostas e, portanto, conseguiram atingir os objetivos de conteúdo e de habilidade.

Segundo o especialista responsável pela sequência do processo de fabricação, alguns dos alunos chegaram, sim, a ir além do que era requisitado, procurando outras referências e demonstrando interesse, por exemplo, em acompanhar uma etapa do processo fora do período da aula. Além disso, pelos comentários dos alunos, no geral, eles ficaram bastante satisfeitos com a disciplina, sendo que alguns deles chegaram a enfatizar que o tópico de MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) ou dos transistores 3D foram muito interessantes. Dessa forma, os objetivos afetivos, de valorização e atitude foram atingidos.

3.4. Análise dos resultados em relação do PPP.

O PPP do curso de sistemas eletrônicos enfatiza que o objetivo do curso é “propiciar uma formação mais generalista no campo da engenharia elétrica e ao mesmo tempo permitir ao aluno um certo nível de especialização em campos específicos da produção ou aplicação de sistemas eletrônicos” de forma a “preparar aos alunos para atuarem nas mais diversas áreas da Engenharia Elétrica e, principalmente, propicia-lhes a formação básica para se manterem atualizados durante toda sua vida profissional”.

Dessa forma, contextualiza-se a disciplina de laboratório de fabricação de dispositivos em Microeletrônica como sendo uma disciplina da área da especialização em Microeletrônica. Dessa forma, essa disciplina deu ao aluno conhecimentos básicos da área de fabricação em Microeletrônica, permitindo que ele, partindo de alguns conhecimentos básicos, depois possa se aprofundar nessa área.

Vale ressaltar que a aula de dispositivos avançados já é uma forma de mostrar aos alunos um pouco do estado da arte da microeletrônica, fazendo com que eles tenham conhecimentos atualizados sobre o assunto, sendo, portanto, diretamente relacionado a outro objetivo do curso de sistemas eletrônicos: o dos alunos “se manterem atualizados durante toda sua vida profissional”.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A disciplina de Laboratório de Fabricação de Dispositivos em Microeletrônica apresenta estratégias de ensino-aprendizagem diferenciadas, aulas práticas logo após as teóricas e a apresentação de uma sequência de fabricação de dispositivos em microeletrônica, juntamente com estratégias já tradicionais, aulas expositivas, participação em aula, relatórios e provas.

Apesar de alguns pontos negativos, principalmente, com relação à documentação do plano da disciplina sobre os aspectos relacionados aos objetivos de habilidades, afetivos e de valorização e atitudes, esta disciplina obteve resultados extremamente positivos, com todos os objetivos, tanto do curso como da disciplina, sendo atingidos.

Dessa forma, os alunos conheceram e desenvolveram os conteúdos necessários da área de Microeletrônica já como uma aplicação (a fabricação de um dispositivo em microeletrônica) que eles já usam em seus projetos da graduação, ou mesmo, nos dispositivos eletrônicos que encontramos em nossas casas e que ainda estarão presentes no nosso futuro (apresentando tópicos sobre o estado da arte dos mesmos). Também houve uma melhor compreensão de outros temas abordados em outras disciplinas. A partir disso, os alunos desenvolveram uma formação básica sobre o que há dentro de um circuito integrado, permitindo um diferencial na



formação como engenheiro que certamente se deparará com um circuito integrado na sua vida profissional. Ademais, a disciplina inspirou alguns dos alunos a se aprofundarem na área.

A estratégia da aula prática após a teórica foi bem recebida pelos alunos de forma que, com os conceitos ainda na memória, eles pudessem presenciar concretamente o que eles acabaram de ver nas aulas teóricas, completando o processo de aprendizagem do conteúdo e iniciando o processo de aprendizagem de poder fabricar um dispositivo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos os profissionais dos laboratórios de Microeletrônica (LME) e de Sistemas Integráveis (LSI), ambos da Escola Politécnica da USP, que ajudaram na realização da disciplina e deste trabalho, em especial aos professores Marcelo Nelson Páez Carreño, José Aquiles Baesso Grimoni e Osvaldo Shigueru Nakao. Agradecemos também às agências CAPES, FAPESP e CNPq pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, “Balança Comercial Setembro 2013 - Saldo Comercial Janeiro a Setembro 2013”, disponível em: <http://www.abinee.org.br/abinee/decon/decon10.htm>, acesso em: 16/12/2013.

DAVIES, I. “Competence Based Learning”, ed. McGraw Hill, 1973.

MARTINO, J. A., Ementa da disciplina PSI2643 – Laboratório de Fabricação de Dispositivos em Microeletrônica, disponível em: <https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/obterDisciplina?sgldis=psi2643&nomdis=>, acesso em: 16/12/2013.

MASETTO, M. T. Competência Pedagógica do Professor Universitário. São Paulo: Summus Editorial, 2003

SEQUENCE OF TRANSISTORS NMOSFETS FABRICATION AS A STRATEGY FOR TEACHING-LEARNING IN MICROELECTRONICS

Abstract: *This work aims to analyze the teaching-learning strategies used in the subject PSI2643 – Laboratory of Microelectronic Device Fabrication, offered for undergraduate students of Polytechnic School of University of Sao Paulo. It was analyzed the students' answers of an assessment questionnaire about the discipline, some comments of a technician involved in the classes and with more contact with students and, further, the discipline plan. The results were very positive from both approaches, as well as with respect to contextualization within the electrical engineering course with an emphasis on electronic systems.*

Key-words: *Teaching-learning strategy, assessment questionnaire, semiconductor device fabrication, microelectronic.*



ANEXO 1 – PROPOSTA PARA OS TÓPICOS: CONTEÚDO PROGRAMÁTICO, AVALIAÇÃO, CRONOGRAMA E BIBLIOGRAFIA.

AULA/ DATA	CONTEÚDO	OBJETIVOS	ESTRATÉGIAS	AVALIAÇÃO	REFERÊNCIAS
1	Introdução curso História Componentes em CIs.	Habilidades: 1,6 Afetivo: 1a a 1e Valores e atitudes: 1 a 5	Aulas expositivas Transparências Lista de exercícios	Prova escrita Observação do comportamento	1,2,3,4
2	Sequência de fabricação	Habilidades: 1,6 Afetivo: 1a a 1e Valores e atitudes: 1 a 5	Aulas expositivas Transparências Lista de exercícios	Prova escrita Observação do comportamento	2,3,4
3	Projeto e análise da sequência de fabricação	Habilidades: 4,6 Afetivo: 1a a 1e Valores e atitudes: 1 a 5	Aulas expositivas Transparências Simulador MINIMOS	Prova escrita Observação do comportamento	2,3,4
4	Caracterização e limpeza da lâmina	Habilidades: 2,6 Afetivo: 2a a 2f Valores e atitudes: 1 a 6	Aulas expositivas Transparências Acompanhamento do processo no laboratório	Prova escrita Observação do comportamento	2,3,4
5	Oxidação térmica e deposição	Habilidades: 2,6 Afetivo: 2a a 2f Valores e atitudes: 1 a 6	Aulas expositivas Transparências Acompanhamento do processo no laboratório	Prova escrita Observação do comportamento	2,3,4
6	Fotografação	Habilidades: 2,6 Afetivo: 2a a 2f Valores e atitudes: 1 a 6	Aulas expositivas Transparências Acompanhamento do processo no laboratório	Prova escrita Observação do comportamento	2,3,4
7	Técnicas CVD e dopagem do Si-poli	Habilidades: 2,6 Afetivo: 2a a 2f Valores e atitudes: 1 a 6	Aulas expositivas Transparências Acompanhamento do processo no laboratório	Prova escrita Observação do comportamento	2,3,4
8	Implantação Iônica	Habilidades: 2,6 Afetivo: 2a a 2f Valores e atitudes: 1 a 6	Aulas expositivas Transparências Acompanhamento do processo no laboratório	Prova escrita Observação do comportamento	2,3,4
9	Técnicas de metalização - evaporação	Habilidades: 2,6 Afetivo: 2a a 2f Valores e atitudes: 1 a 6	Aulas expositivas Transparências Acompanhamento do processo no laboratório	Prova escrita Observação do comportamento	2,3,4
10	Caracterização elétrica - capacitância	Habilidades: 4,5,6 Afetivo: 1a a 1e Valores e atitudes: 1 a 5	Simulador MINIMOS	Prova escrita Observação do comportamento	1,3
11	Caracterização elétrica - transistor	Habilidades: 4,5,6 Afetivo: 1a a 1e Valores e atitudes: 1 a 5	Simulador MINIMOS	Prova escrita Observação do comportamento	1,3,4
12	Introdução dispositivos avançados	Habilidades: 1,6 Afetivo: 1a a 1e Valores e atitudes: 1 a 5	Aulas expositivas Transparências	Observação do comportamento Questionário sobre a disciplina	Artigos diversos