多人数学生を対象とした 半導体集積回路技術の実践的教育

Practical Education of Semiconductor Integrated Circuits Process
for A Large Number of Undergraduate Students

村 社 勝 夫
Katsuo MURAKOSO

阿 部 俊 三
Toshimi ABE

遠 藤 俊 夫
Toshio ENDO

四 宮 規 彦
Norihiro SHINOMIYA

四ノ宮 晴 彦
Haruhiko SHINOMIYA

田 頭 功
Isao DENDO

近年、めざましい発展を遂げているシリコン半導体集積回路技術は、学生の教育においても重要な位置を占めている。しかし大学などにおける集積回路技術の実践教育は、施設・設備・経費・スタッフなど制約があり、なかなか実施できないのが実情である。たとえ導入されていても、研修生・大学院生を対象とした小人数であったり、コンピュータによる回路シミュレーションなどである。

今回、全国的にも数少ない多人数を対象とした学部学生に、本学電子工学科ICセンターが中心となり集積回路技術の実践教育を試みた。その結果、多人数を対象としても効率よく実施できること、また学生に与える教育的効果は予想以上に大きいことなどがわかった。

本稿はこれらの実践教育の事例とアンケート調査の結果について報告する。

キーワード：半導体集積回路技術・実践教育・多人数学部学生・アンケート調査

Recent remarkable progress achieved in the field of the silicon semiconductor integrated circuits (IC) process has now made the training of the process to college engineering students essential for their education.

But this training is difficult to accomplish due to the necessary equipment and expenses involved. Even if it is carried out, it is only for a small number of students ; that is, for graduate students and the like ; or it is only a simulation study using computers.

We have tried, then, to train a large number of undergraduate students in the IC-process, and have found that this training can be conducted successfully if it is for a large number of students and that the students were enthusiastic about this training.

In this paper we report on the details of our training program and also the results of the questionnaire to the students.

Keywords : Silicon semiconductor integrated circuits process, Practical education, A large number of undergraduate students, Questionnaire.

1. はじめに

シリコン半導体集積回路技術は、日進月歩の発展を遂げていることは周知の通りである。これらの技術を習得

することは学生の教育現場においても重要な位置を占めている。しかし大学などにおける集積回路技術の実践教育は、施設・設備・経費・スタッフなどで制約があり、なかなか実施できないのが実情である。

今回、本学電子工学科集積回路実験研究センター(以後ICセンター)の協力で、プレーナ形ダイオードの製作実習を学生実験に導入し、約200名の学部学生を対象とした集積回路技術の実践教育を試みたので報告する⁽¹⁾。

2. 電子工学科ICセンターと学生実験

本学電子工学科は、1985年にICセンターを設立し、主として研究・卒業研修などを対象とした半導体集積回路技術の実践的教育を担当してきた⁽²⁾。

1991年、ICセンターと学生実験室が中心となり従来の学部の学生実験に、半導体集積回路技術の実験を導入することを決めた。また、大学院設立のための施設の充実と呼応し、当センターの規模を拡充し、学生実験にも導入できるような施設の改善を行い、1992年9月から学生実験の一テーマとしてスタートした。

電子工学科で実施している学生実験は、2年後期に電子工学実験Ⅰ、3年前期に電子工学実験Ⅱ、そして3年後期に電子工学実験Ⅲをそれぞれ実施している。いずれも実験は90分1コマとして3コマを週1回行い、1班3～4名で全24班体制である。

今回、導入した半導体集積回路技術の実験は、最終コースである3年後期の電子工学実験Ⅲで、その実験項目は以下の通りである。

- I. A/D, D/A変換回路
- II. コンピュータ基礎実験
- III. マイクロコンピュータによる計測・制御
- IV. オペアンプ
- V. オプトエレクトロニクス

VI. 半導体集積回路の設計・製造プロセスの基本技術

3. 半導体集積回路の設計・製造プロセスの基本技術

本実験は、表1に示すように正規の学生実験のスケジュールに取組むことを前提とし、1週目が「ダイオードのマスクパターンの設計」、2週目が「プレーナ形ダイオードの製作」、3週目が「試作ダイオードの特性測定」の3週間で完結するようにした。

3.1 ダイオードのマスクパターン設計(1週目)

ここでは、ダイオードの製造工程で使うマスクパターンのレイヤーをCADによって描かせた。なおCADは市販のCANDY4(アスキー社)を使用し、学生には事前にマニュアルを渡し、読ませておくようにした。パソコン(PC-9801BX, NEC)は2人に1台で人数は6～8名である。

初めに、CANDY4の基本的操作を同時進行で約1時間ほど習得させる。その後、学生が操作に慣れたら設計手順に従って、図1に示す6つのレイヤーを作成し、X-Yプロットに出力させる。結果を指導員に見せて終了する。

ここでの目的はCAD操作に慣れること、各レイヤーが何のマスクパターン用かなど、あくまで経験的な知識を習得させることに主眼をおいた。

3.2 半導体ウェハプロセス技術(2～3週目)

半導体集積回路はシリコン基板の表面にp形領域とn形領域を構成することで、抵抗・コンデンサ・ダイオード・トランジスタなどの素子や半導体デバイスを製作するものである。抵抗やダイオードのアノードはトランジスタのベース拡散、ダイオードのカソードは、トランジ

表1. 電子工学実験Ⅲ日程表

曜	学科/組	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
水	電子1・2	9/30	10/07	10/14	10/21	10/28	11/04	11/11	11/18	11/25	12/02	12/09	12/16	01/13
火	電子3・4	9/29	10/06	10/13	10/20	10/27	11/10	11/17	11/24	12/01	12/08	12/15	12/22	01/12
バ イ テ イ 名	A - B	実 験 ガ イ ダ ン ス	IC製作		コンピュータ 基礎実験		A/DD/A	制御①	制御②	OpeAmp	休	オプト	CAD	休
	C - D						休	A/DD/A	制御①	制御②	OpeAmp	休	オプト	CAD
	E - F		CAD	休	IC製作		コンピュータ 基礎実験		A/DD/A	制御①	制御②	OpeAmp	休	オプト
	G - H		オプト	CAD					休	A/DD/A	制御①	制御②	OpeAmp	休
	I - J		休	オプト	CAD	休	IC製作		コンピュータ 基礎実験		A/DD/A	制御①	制御②	OpeAmp
	K - L		OpeAmp	休	オプト	CAD					休	A/DD/A	制御①	制御②
	M - N		制御②	OpeAmp	休	オプト	CAD	休	IC製作		コンピュータ 基礎実験		A/DD/A	制御①
	O - P		制御①	制御②	OpeAmp	休	オプト	CAD					休	A/DD/A
	Q - R		A/DD/A	制御①	制御②	OpeAmp	休	オプト	CAD	休	IC製作		コンピュータ 基礎実験	
	S - T		休	A/DD/A	制御①	制御②	OpeAmp	休	オプト	CAD				
	U - V		コンピュータ 基礎実験		A/DD/A	制御①	制御②	OpeAmp	休	オプト	CAD	休	IC製作	
	W - X				休	A/DD/A	制御①	制御②	OpeAmp	休	オプト	CAD

図1. 6つのレイヤーパターン

スタのエミッタ拡散と同じであることより、各デバイスは同一工程で製作されることが一般的である⁽³⁾。

したがって今回の実験で製作するプレーナ形シリコンダイオードのpn接合は、半導体デバイスの基本的な構成要素となるため、複雑な集積回路を製作する場合でも、これらの基本的な製造プロセスを応用すれば良いことになる。ここでは洗浄・酸化・拡散・フォトリソグラフィの各技術を実践的に理解させることを目的とした。

3.3 プレーナ形ダイオードの製作プロセスの概要

ダイオードの製作工程は次の通りである⁽⁴⁾。

- (1) Siの熱酸化
- (2) フォトリソグラフィ
- (3) SiO_2 のエッチング
- (4) p形不純物拡散剤の塗布
- (5) 拡散剤のベーキング
- (6) p形不純物の熱拡散
- (7) フォトリソグラフィ
- (8) SiO_2 エッチング
- (9) Alの蒸着前処理
- (10) Alの蒸着
- (11) Alのシンタリング

製作時間が限られているため、上記工程中(1)～(5)はICセンターで処理済みのシリコンウェハを用いた。なお1回の製作は4名の指導員により、4班最大16名の学生が同時に行うが、工程によっては、装置の関係で2班ずつ

2グループに分けて実施した。なお全員、写真1に示す防塵服を着用させた。ダイオード製作プロセスの工程時間を表2に、プロセスの概要図を図2にそれぞれ示す。

最初の製作工程中、ホウ素熱拡散では予め加熱してある4台の拡散炉に試料を入れ、約35分間熱処理をして待機させた。その間、学生は全員集積回路製作に関するビデオを鑑賞させ、予備知識を与えた。

次にフォトリソグラフィの工程からはマスクアライナが2台のため、約30分前後の時間差を設けた。工程中、空いた時間は次の作業のガイダンスを行って待機させる

写真1. 防塵服を着用した学生

表2. 製作工程時間割

前 半		後 半	
時 刻	1・2班	3・4班	時 刻
12:50 13:00	集合 [4B26: IC実験講義室]		12:50 13:00
14:00	ホウ素熱拡散 (約60分) [4B29: プロセス室]	ホウ素熱拡散 (約60分) [4B29: プロセス室]	14:00
	フォトリソ グラフィ (約100分) *レジスト塗布 *プリベーキング *露光 *現像 *ポストベーキング [4B28: 露光室]	待 機 (約30分)	14:30
15:40		フォトリソ グラフィ (約100分) *レジスト塗布 *プリベーキング *露光 *現像 *ポストベーキング [4B28: 露光室]	16:10
	エッチング レジスト剥離 (約40分) [4B29: プロセス室]	エッチング レジスト剥離 (約40分) [4B29: プロセス室]	
16:20	A/ 蒸着前処理 (約10分) [4B29: プロセス室]	A/ 蒸着前処理 (約10分) [4B29: プロセス室]	16:50
16:30	A/ 蒸着 (約30分) [4B27: 薄膜堆積室]	A/ 蒸着 (約30分) [4B27: 薄膜堆積室]	17:00
17:00	A/ シンター (約40分) [4B29: プロセス室]	A/ シンター (約40分) [4B29: プロセス室]	
17:40	待 機 (約30分)		17:30
18:10	完 成		18:10
	清 掃

図2. プレーナ形シリコンダイオードの製作プロセス

写真2. マスク合わせをしている様子

ようにした。学生はプロセスごとに交替で作業するよう指示し、それぞれに役割分担させた。

しかし、重要と思われるマスクアライナによるマスク合わせと、顕微鏡観察によるエッチング前後処理は全員に体得させた。写真2はマスクアライナによりマスク合わせをしている様子である。

次に電極付け工程のAqueous solution・Aqueous solutionシンタリングは、説明も含め80分程度かけている。ここでも工程中の待ち時間に、ドラフトチャンバや使用器具類の清掃・整理、また

図3. 完成した試料(写真)とV-I特性の一例

実験工程の確認などをさせた。なお実験中における薬品の取り扱い、危険性については全体ガイダンスとその使用箇所でのつど注意を促し、事故防止に努めた。

このように製造プロセスのハード面ばかりでなく、ソフト面も教育の一環ととらえ、総合的に半導体製造プロセスのシステムについて習熟させた。

3.4 pn接合の特性測定(3週目)

3週目は製作したダイオードを1~2個選び、マイクロプローブを用いて電流-電圧特性を測定させた。図3にその結果の一例と試料の写真を示す。

測定結果は逆方向の特性で、班による多少のバラツキが見られたが、ほぼ満足するものであった。

4. 実験施設と装置

写真3は今回使用した施設の一部を廊下側からみたものである。また図4は実験室全体の配置図を示している。

なお、このフロアは実験中、クリーンゾーンで土足厳禁、無断通行禁止としている。

IC製作で使用する部屋は、洗浄用ドラフトチャンバ・拡散電気炉があるプロセス室、フォトリソグラフィの露光室(イエロールーム)、Aqueous solution電極蒸着用真空排気装置のある薄膜堆積室をそれぞれ使用した。各実験室の空調は、空調室に設置された排気装置で常に排気されている。さらに装置ごとに防塵カバーを施し、小形ベンチレータを設けて局所的空気洗浄を行った。また試料は工程ごとに洗浄したピンセットを使用し、処理後は直ちにシャーレに入れ、埃りの付着を極力防止するように指導した。

写真 3. IC 製作の施設 (プロセス室)

図 4. 使用した実験室の配置図

5. 指導体制

今回の電子工学実験Ⅲの指導体制は、教員が 1 名、助手が 7 名で、とくに IC 製作の項目では CAD 関係 2 名、製造プロセス 4 名 (うち IC センターから 3 名) とし、2 週目には、きめ細かな指導が行えるように 1 名の助手が 1 班 (3～4 名) を受けもつようにした。

6. ま と め

実験終了時、学生に感想文と実験全般に対するアンケート調査を行った。感想文には「製造工程の多さにびっくりした」「作業が細かいので手が震えた」「最先端の技術を知った」「TV で知っていたが実際にやるのとは違う」など、体験して知った感想を多く述べている。

また「A/蒸着の工程のとき A/が一瞬にして蒸発し鏡面になったのがとても印象的でした」と述べている学生も数多く、視覚的な印象が強かったものと思われる。

表 3 にアンケート調査の結果を示す。それによると、この IC の設計・製造プロセスの実験を 78.6% が「印象に残った項目」としている。また「良い体験をした」が 90.7% を示し、ほぼ全員が今回の実験を意義のあったものととらえている。

以上の結果より

- (1) 学生に強い印象を与えた
- (2) 学生に最先端技術の一部を身近に体験させることができた
- (3) 今回の基礎技術はすでに実施している 4 年生の研修、大学院での指導効率を向上させた
- (4) 一部、準備段階で IC センターの施設を利用したが学生実験では大形施設を使用しなくても効率よく実施できた

表 3. 実験Ⅲアンケート調査結果 (抜粋)

Q1. 今回行った『実験Ⅲ』で最も印象に残ったテーマは?	[%]
K1. I A/D, D/A変換回路。	1.8
K2. II コンピュータ基礎実験。	13.0
K3. III マイコンによる計測・制御。	3.0
K4. IV オペアンプ。	1.2
K5. V オプトエレクトロニクス。	2.4
K6. VI ICの設計・製造プロセスの基本技術。	78.6
Q2. 「ICの設計・製造プロセス」についてあなたは理解できましたか?	[%]
K1. 十分理解できた。	14.5
K2. だいたい理解できた。	43.3
K3. 半分ぐらい理解できた。	33.5
K4. 少ししか理解できない。	8.7
K5. 全く理解できない。	0.0
Q3. 「ICの設計・製造プロセス」を行ってあなたはどのように感じましたか?	[%]
K1. 良い体験をした。	90.7
K2. 何も感じなかった。	5.8
K3. 大変苦痛だった。	3.5
Q4. 「ICの設計・製造プロセス」実験指針 (サブテキスト) は理解できましたか?	[%]
K1. 説明が分かり易い。	47.6
K2. " 少し難しい。	50.6
K3. " 全く分からない。	1.8
Q5. 「ICの設計・製造プロセス」で難しいと感じたプロセスはどの工程ですか?	[%]
K1. 拡散工程。	9.4
K2. ベーキング処理工程。	11.7
K3. マスク合わせ工程。	40.3
K4. エッチング処理工程。	33.9
K5. A1 蒸着処理工程。	4.7
Q6. 「ICの設計・製造プロセス」で製作したダイオードの測定結果はどうでしたか?	[%]
K1. 大変満足した結果が得られた。	14.2
K2. ほぼ満足した結果が得られた。	52.9
K3. 満足した結果が得られなかった。	32.9

(5) 実験試料・資材関係などのランニングコストは1
班当たり約13,000円程度であった
などが、わかった。

今回の多人数学生を対象とした集積回路の製作実習は、
われわれが予想した以上に学生に与える影響は大きいも
のがあった。とくに、最近の理工系離れの原因にあげら
れている拘束時間の多い学生実験⁽⁶⁾にあって、若者のハ
ートをひきつけるのに良い項目であるかと思われる。

謝 辞

今回の実験に際して試料を快く提供して下さった本多
エレクトロン(株)の田中芳邦・鈴木章介両氏に深謝致しま
す。また文部省私学助成(特色教育研究)から一部援助を
受けているものであり、関係者各位に謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 遠藤・四宮・四ノ宮・阿部・村社・田頭：多人数学
生を対象とした集積回路技術の実践的教育，電学会東
北支連大，2G5，p.275 (1993)。
- (2) 伊藤・四ノ宮・竹田・阿部・田頭：教育IC用プロセ
ス装置のためのガス純化装置の製作と評価，東北工大
紀要，No.9，p.145 (1989)。
- (3) 柳井久義・永田 穰：集積回路工学(1)，p.134，コロ
ナ社 (1992)。
- (4) 前田和夫：最新LSIプロセス技術，工業調査会，
p.105 (1985)。
- (5) 関東工業教育協会大学教育委員会第一分科会，高校
生の理工系離れ調査報告，工業教育，40，3，p.44 (1992)。

村社 勝夫
昭和42年 東北大学工教電気工学
科卒業
現 在 東北工業大学
電子工学科講師

阿部 俊三
現 在 東北工業大学
電子工学科助手
(ICセンター)

遠藤 俊夫
現 在 東北工業大学
電子工学科助手

四宮 規彦
現 在 東北工業大学
電子工学科助手
(ICセンター)

四ノ宮晴彦
現 在 東北工業大学
電子工学科助手
(ICセンター)

田頭 功
昭和38年 東北大学工学部通信工
学科卒業
現 在 東北工業大学
電子工学科教授