

電子デバイス実験

～教育研究設備の導入と学生実験への応用～

秋山正弘*1・百瀬成空*1・原田寛治*2・宮下大輔*3・中山英俊*4・松下英次*5・中澤達夫*6

Experiment of the Electrical Device

AKIYAMA Masahiro, MOMOSE Noritaka, HARADA Kanji,
MIYASHITA Daisuke, NAKAYAMA Hidetoshi and NAKAZAWA Tatsuo

キーワード：実践技術教育，学生実験，教育研究設備，半導体評価システム

1. はじめに

現在，高専では実践技術教育が求められている。我々は電気電子工学科で多く利用される電子デバイスを対象とした実践技術教育を考えた。実践技術教育は電気電子工学科の5年生の科目である電気電子工学実験Ⅴのテーマの一つ「電子デバイス実験」で4週間の長期に渡って行われた。ここでは、「電子デバイス実験」について報告する。

2. 実験順序

最近多くの大学や高専の学生実験において，ダイオードや薄膜回路の作製や評価が実施されている⁽¹⁾。我々が行った「電子デバイス実験」でも，基本的な電子デバイス（集積回路）の一つである「薄膜抵抗」に注目した。内容は「薄膜抵抗」の設計・製作・評価の一連の流れが体験できるように構成されている。実験プロセスを図1に示す。図1にあるように実験項目は大きく分けて(a)から(i)までの9つのプロセスからなる。それぞれのプロセスの説明を簡単に行う。(a)はパソコンによるレイアウト設計である。(b)はフォトマスク（OHPシート）の作製である。これは，(a)で設計したレイアウトデータを元にしてい

る。(c)は洗浄されたガラス基板である。(d)はガラス基板へのアルミニウム薄膜の堆積（薄膜の形成）である。(e)はレジスト（感光剤）塗布を行っている。

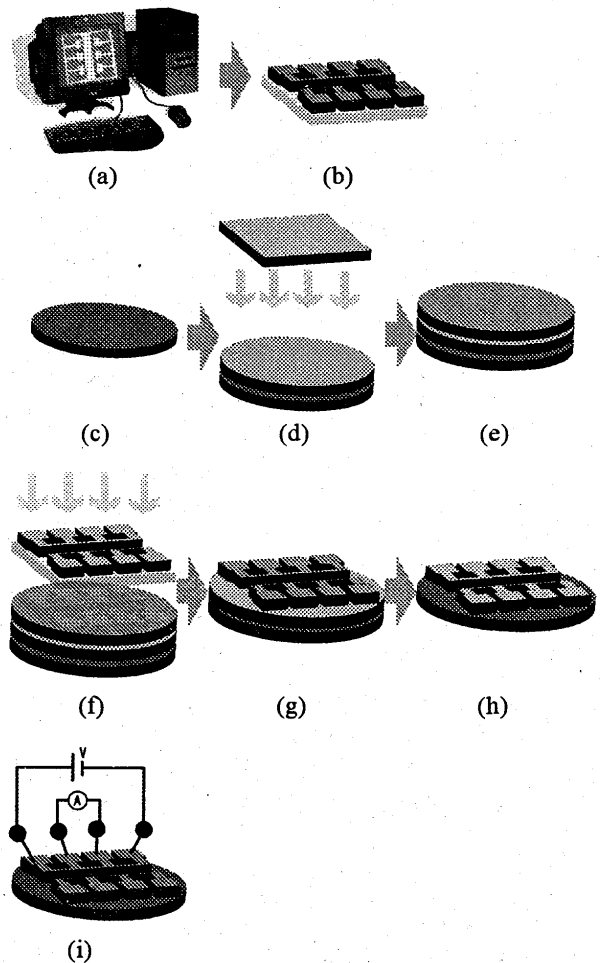


図1 実験のプロセス

*1 電気電子工学科助教

*2 津山高専 電気電子工学科准教授

*3 機械工学科講師

*4 電子制御工学科助教

*5 環境都市工学科助教

*6 電子情報工学科教授

(f)はフォトマスクを用いてレジストヘレイアウトパターンを転写している。(g)はレジストが転写したパターンに形成されたところである。(h)はレジストパターンに従って薄膜をエッチングしたところである。(i)は(h)で完成したサンプルを測定している。

前述したように、(a)から(i)までの工程は4週間で行われる。1週目は(a)から(b)までの実験を行う。2週目は(c)から(d)までの実験、3週目は(e)から(h)までの実験、4週目は(i)の実験を行う。学生は各週のテーマごとに実験の報告書を作成する。以下に、各週の実験について具体的に報告する。

3. 実験1週目 (レイアウト設計)

1週目は「レイアウト設計」及び「マスクの製作」である。レイアウト設計はPC(パーソナルコンピュータ)を用いて行う。レイアウト設計ソフトは「 α -SX Ver. 2.3.1(株式会社ジータット)」である。実験は情報教育センター第2端末により行われた。

各人がPCを用いて薄膜配線の測定用レイアウトを与えられた条件を満たすように設計を行う(図2)。学生が設計したレイアウトパターンを図3に示す。

レイアウト設計では、実際に企業が集積回路を製作する環境と同等なレイアウトソフトを用いて、設計を行った。高度な技術が必要となる実験であったが、学生は要領よく進めていくことが出来ていた。自ら電子デバイスを設計する経験は、電子デバイスの理解を深めると考えられる。

また、この実験において、フォトマスクを学生自身が製作することは重要である。しかし、フォトマスクを設計し、作製するには高度な技術と装置が必要である。そこで実験では、100 μm 程度の解像度があるフォトマスクを、OHPシートを用いて作製した。印刷には熱転写型のプリンタ(Alps社製MD-5500)を用いた。

また、図4に学生が製作したフォトマスクを示す。また、図5にプリンタ解像度2400 dpiで印字した例を示す。

4. 実験2週目 (アルミニウム薄膜の堆積)

実験2週目は、薄膜抵抗の元となるアルミニウム(Al)薄膜の堆積である。Alの薄膜は、真空蒸着装置(サンヨー電子社製、SVC-700)を用いて堆積した⁽²⁾。本装置の真空排気には油回転ポンプと油拡散ポンプの2基が用いられており、本製膜実験を通して基本的な真空の作製手順も教授することができる。

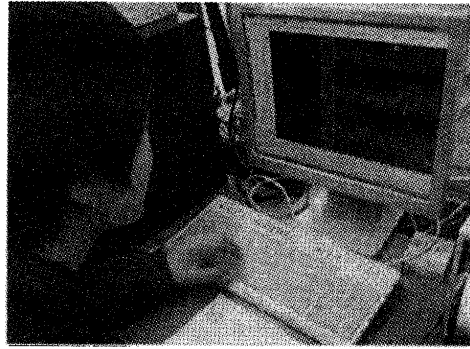


図2 PCを用いてのレイアウト設計風景

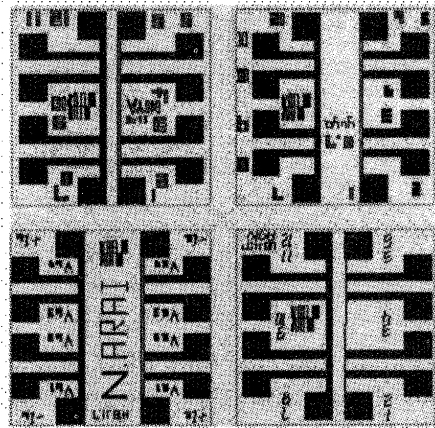


図3 学生が設計したレイアウトパターン

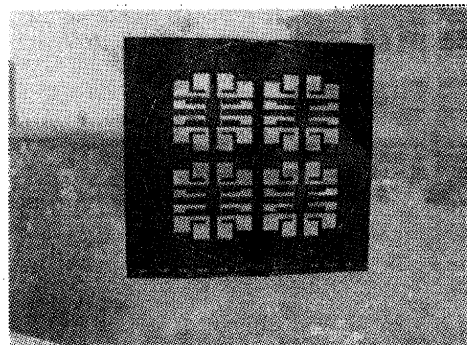


図4 レイアウトパターンを印刷したOHPシート例

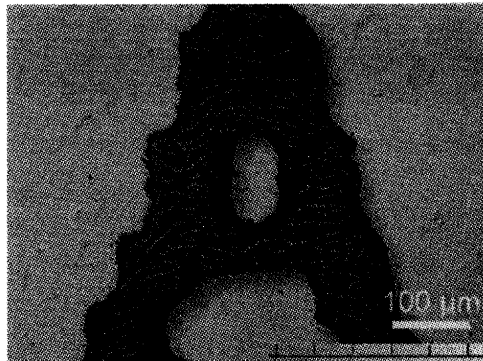


図5 OHPシートに2400 dpiで印字したテストパターン

フロントパネルには本装置の真空排気系統が図示されており、さらにバルブの開閉状況が LED により表示されているため、排気作業を視覚的に理解させることが可能である。さらに、ほぼ全ての排気操作バルブに電磁弁方式のスイッチが採用されており、これらは学生が実際に使用する際の誤操作を防ぐ。

基板には直径 2 inch, 厚さ 0.5 mm の単結晶 Si ウェハおよび並ガラスを用いた。当初は半導体集積回路の作成であることから Si ウェハを用いていたが、取り扱い中に割ってしまうことが多く、代替の Si を用意するコストが問題であった。これを安価な並ガラスに変更することで、コスト面の問題が解決されたうえ、堆積された Al 薄膜が視覚的に分かりやすくなり学生には好評であった。なお、評価までの一連の実験が終了した後は、Al の薄膜を全て除去し、基板を繰り返し利用した（薄膜除去の詳細は節 5 参照）。

本装置には Al を蒸発させる加熱容器として、小型のタングステン製バスケットが装備されていた。しかしバスケットにより堆積できる Al はごく少量であるため、代わりに窒化ボロン製のボート型容器を用いた。ただしこのボートは熱膨張係数が大きく、標準の治具を用いて固定すると加熱時に割れる恐れがあるため、ボートの膨張に併せて変形するパネ式の治具を自作し、固定に用いた。堆積する Al の膜厚は約 0.4~0.6 μm を目標とした。このとき、堆積した膜厚は水晶振動子式膜厚モニターを用いて観察した。図 6 に Al 薄膜の堆積実験風景を示す。

5. 実験 3 週目 (Al 薄膜の配線パターン の作製)

配線パターンは一般的なフォトリソグラフィ工程を用いた。用いたレジストは東京応化工業製ネガレジスト OMR83 である。また使用した装置は、スピナー(共和理研社製 k-359・s-1)、ホットプレート(アズワン社製 ND-2)、露光装置(共和理研社製 UIV-270)である。フォトリソグラフィ工程で回転数 4000rpm, 露光時間 5 秒, 現像時間 60 秒の条件で作製したテストパターンを図 7 に示す。約 100 μm 幅のレジストパターンを描くことができた。Al 薄膜のエッチングは、 $\text{H}_3\text{PO}_4:\text{CH}_3\text{COOH}:\text{HNO}_3 = 250:20:3$ (55 \pm 5 $^\circ\text{C}$) 溶液に約 3~4 分間(最初の 1 分程度は放置し、泡が前面についたら 2 分から 3 分スイングさせる)つけ、レジストが付いていない箇所の Al をエッチングした。その後、OMR 剥離液 (120 \pm 10 $^\circ\text{C}$) に約 5 分間つけレジスト膜を除去した。図 8 に Al 薄膜のテストパターンを示す。約 50 μm

のパターンが作製されていることがわかる。またアルミ薄膜上の水滴のような模様は、OHP マスクの汚れである。

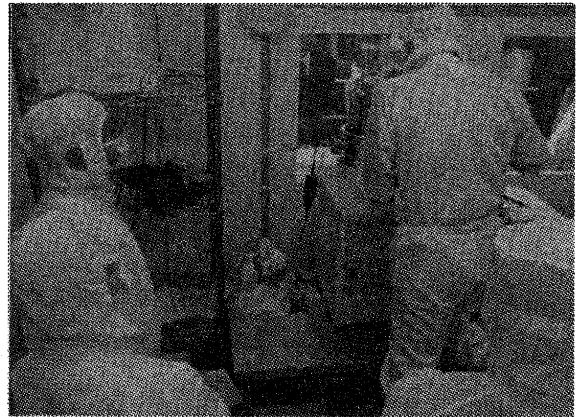


図 6 Al 薄膜の堆積実験風景

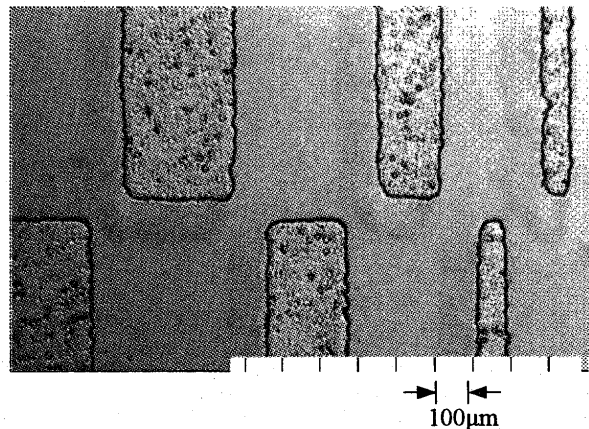


図 7 回転数 4000rpm, 露光時間 5 秒, 現像時間 60 秒で作製したテストパターン

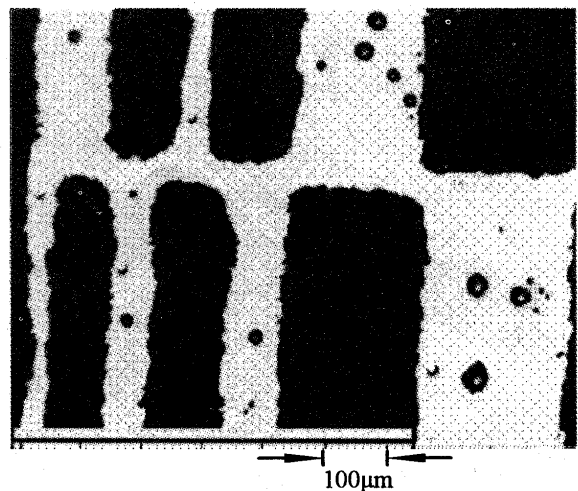


図 8 Al 薄膜のテストパターン

6. 実験4週目（製作デバイスの評価）

完成したサンプルは、表面形状の評価、電気的特性の評価の2種類を実施している。表面形状の評価には、高精度微細形状測定機（小坂研究所製高精度微細形状測定機 ET3000）を用いた^②。また、電気的特性の評価には、集積回路(IC)評価システム（ハイソル社製マニュアルプローバ HMP-410、ケースレイ社製半導体パラメータアナライザ 4200-SCS）を用いた^②。

表面形状の評価は、製作したサンプルの電極間隔の長さや、薄膜形成した膜厚が設計値通りに作られているかを調べる。表面形状の評価対象のイメージを図9に示す。

電気的特性の評価は、製作したサンプルの電圧・電流特性から抵抗値を算出する。抵抗値の算出のために、簡易な4端子法を用いる。測定が容易にできるようにレイアウトが工夫されている。図10に電気的特性の評価イメージを示す。

表面形状、電気的特性の測定結果は設計されたサイズ、薄膜の厚さに依存した値となり、設計・製作プロセスの理解が深まったと考えられる。

7. まとめ

高専で求められている実践技術教育を「電子デバイス実験」という形で行った。電気電子工学を学ぶ学生にとって電子デバイスは大変重要な素子である。しかし、電子デバイスを利用した実験は数多くあるが、実際に設計・製作・評価を行う実験はこれまでに無かった。

この実験により、座学だけではイメージが困難な電子デバイスの設計・製作・評価の一連の流れを理解させることができたと考える。

謝辞

本実験は、平成17年度特別教育研究経費で購入された設備を用いて行われた。記して謝意を表す。

参考文献

- (1) 長岡他：誌間電波高専研究紀要，第28号，p. 57（2000）。
- (2) 松下英次，宮下大輔，秋山正弘，百瀬成空，中山英俊，為末隆弘：ネットワークを利用した高度実践技術教育の推進～教育研究設備の導入と学生実験への応用～。長野工業高等専門学校紀要，第40号，pp.105-108（2006.6）。

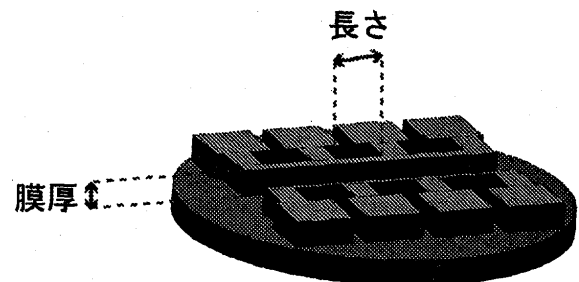


図9 表面形状の評価対象イメージ

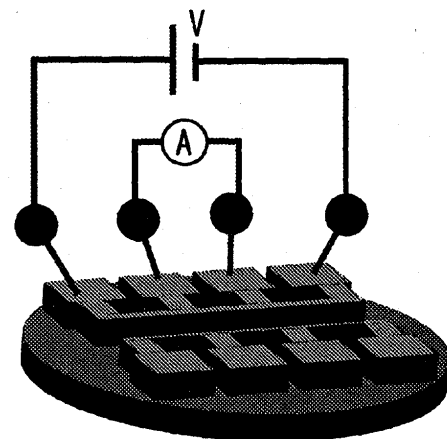


図10 電気的特性の評価イメージ