

# 電子工学科 実験報告書

---

実験題目：  
担当教員：  
実験開始日： 令和5年6月29日  
実験終了日： 令和5年7月日  
提出日： 令和5年7月日  
再提出日： 西 敬生 教授

学年： 5年  
出席番号： 12  
実験班： B班  
氏名： 河合 将暉

共同実験者名： 岡田 あきたか 川邊 愛貴 きゅうと 久米 りょうと

---

コメント欄

# 1 目的

半導体素子を作成する上で最重要技術である不純物拡散によるシリコン PN 接合作成技術を習得し、半導体素子や集積回路の作成技術に関する基本概念を得ることを目的とする。

## 2 解説

### 2.1 拡散

異種の粒子が異なった濃度分布で共存するとき、この混合系が熱平衡状態に近づこうとして起こる濃度分布一様化の過程を拡散という。拡散を原子の移動という立場から眺めてみると、原子が結晶欠損（穴）に異動するもの、格子間の本来結晶格子がとるべきではない位置へ移動するもの、複数の原子が互いの位置を入れ替えるものがある。拡散の過程では、これらが単独に、あるいは組み合わせあって起こる。

### 2.2 半導体

抵抗率を  $10^3 \sim 10^9 \Omega\text{cm}$  の範囲に制御できる物質の総称。またこの半導体の電気的特性が光、磁気、熱など外部エネルギーの影響を強く受ける。新聞紙上など、一般的に用いられている場合は、この半導体を材料に作られた IC などのデバイスを指している。

### 2.3 伝導型 (p 型, n 型)

半導体中には、マイナスの電荷をもつ電子とプラスの電荷をもつ正孔が存在する。2 つを合わせて“キャリア”と呼ぶ。電子が多い半導体を n 型 (negative の頭文字)、正孔が多い半導体を p 型 (positive) と呼ぶ

### 2.4 PN 接合

p 型と n 型の半導体が“くっついた”部分に電圧を印加すると整流性が現れる。

### 2.5 ショットキー接触

p, n どちらかの半導体と、ある金属を接合させた場合も整流性が現れる。

## 3 実験内容

### 3.1 使用器具

表 1: 使用器具

No	機器名	型番	シリアル No	備考
1	電気炉			
2	ディップコーター			
3	真空蒸着装置			
4	ホットプレート			
5	ジェットオーブン			
6	定電圧電源			
7	デジタルマルチメータ			

## 3.2 実験方法

この実験は、拡散現象を利用してシリコン基板中に不純物を混入させ、pn 接合を作製した。基板の表面からドナーもしくはアクセプタとなる物質を拡散によって混ぜ入れると、表面に近いほど濃度が高い不純物濃度分布となる。拡散させた不純物の濃度が基盤自体の不純物濃度に等しくなる深さの位置が、pn 接合となる。つまり、不純物がアクセプタの場合、不純物混入を行った面が p 型、逆側が n 型のダイオードの構造となる。

また、ダイオードを電気回路中に組み込むためには、当然のことながらこれと金属との接触が必要となる。しかしながら金属と半導体を単純に接触させると、p 型半導体と n 型半導体の接触時に作製するショットキー障壁が発生し、この接触部によって新たなダイオードができるので、意図する特性が得られなくなる。このため、金属半導体接合部の整流性を排除した抵抗性接触になるようにダイオードに電極を付ける。これは、ショットキー障壁の高さを下げるか、壁厚を薄くする（これによりトンネル効果により電流が多く流れるようになる）ことと半導体側のキャリア再結合速度を増大させることで実現できる。障壁の厚さは金属の仕事関数の大きさに、壁厚は半導体のキャリア濃度の高さに依存する。この実験では、金属の仕事関数を上げる（勢いよく半導体に付着させる）ために、蒸着法を用いた。

### 3.2.1 pn 接合試料作成手順

- 1) 酸化膜付 Si ウェーハを Fine Crystl Cutter で 1cm.5cm ぐらいにカット。
- 2) ウェーハを洗浄
- 3) ディップコータでレジストをウェーハの半分だけ塗布し、保護膜を形成。
- 4) ウェーハをバッファードフッ酸の中に入れ、レジストがついていない部分だけ酸化膜エッチング
- 5) レジストをアセトン 1 + 第 2 プロパノール 1 の混合液とメタノールで除去
- 6) P(リン) 化合物が解けた不純物溶液を酸化物が除去された Si ウェーハ部分にディップコータで塗布した。ここで、ディップコータからの引き上げ時間を 1 mm/s と 0.1 mm/s に分けて行い、0.1 mm/s のウェーハ裏面にダイヤモンドペンを用いて印付けを行った。ウェーハ 5 枚のうち、1 mm/s を 3 枚、0.1 mm/s を 2 枚に分けて実験を行った。
- 7) ホットプレート 100～200°C、1 分で溶液の乾燥。
- 8) 電気炉内で焼成し不純物拡散 (1000°C 以上 30 分)
- 9) バッファードフッ酸による不純物ガラス、酸化膜のエッチング
- 10) Al 蒸着による電極形成
- 11) ホットプローブ法により pn 判定で、不純物拡散の出来を確認
- 12) 試料の保護のためのスライドガラスをガラス切りによって切断
- 13) ロウにより、切断したスライドガラスと試料を接着

### 3.2.2 測定方法

- 1) pn 接合ダイオードの順方向・逆方向 I - V 特性

- (a) 市販のダイオードと電流計，電圧計，直流電圧電流源を接続し，順方向特性について測定した．市販の整流用ダイオードの測定ではしきい電圧の約 0.65V 以下までは高抵抗素子として，電圧計は電源と並列で，電源は電圧源として測定した．しきい電圧の約 0.65V 以下までは高抵抗素子として以上は，低抵抗素子として電圧計はダイオードと並列接続し，電源は電流源として測定した．10mA になるまで測定した．
  - (b) 逆方向特性を測定する．20V ぐらいまで電圧を印加したときの電流を確認した．
- 2) 作成した pn 接合の順方向・逆方向 I - V 特性
- (a) 試料表面の電極に測定用針を接触させ，静特性を測定した．
  - (b) 作成した試料と直流低電圧電流源，電圧計，電流計を接続し順方向の I - V 特性を測定した．このとき，試料の内部抵抗が高いため，以下の全測定において電源は電圧源として使用した．電流が 1mA になるまで測定した．(内部抵抗が高いため，しきい電圧以上の電圧を印加する必要がある)
  - (c) 逆方向特性を測定した．pn 接合の降伏現象を確認したいが，内部抵抗が高いため急激な電流の増加は見られないがグラフ化すると傾きが異なるため判明する．そのためグラフがしっかり描けるように測定点を多めに．

## 4 実験結果

### 4.1 pn 接合ダイオードの順方向・逆方向 I - V 特性

表 2: 既成品 pn 接合ダイオードの順方向 I - V 特性 (閾値以下)

電圧 [mV]	電流 [ $\mu$ A]	電圧 [mV]	電流 [ $\mu$ A]
0.000	0.06	528.1	189.6
49.99	0.06	538.1	220.7
100.0	0.06	548.1	258.6
150.0	0.08	558.0	292.3
200.0	0.13	568.0	332.8
249.0	0.31	578.0	375.8
308.8	1.11	587.9	421.8
318.8	1.41	597.9	474.2
328.7	1.79	607.9	521.7
338.7	2.31	617.8	575.8
348.6	3.18	629.8	642.9
358.7	3.90	639.8	701.3
368.6	5.07	649.8	761.0
378.6	6.58	659.7	823.8
388.6	8.59	669.7	887.4
398.5	11.80	679.6	953.1
408.5	14.56	689.6	1020.2
418.5	18.84	699.6	1087.4
428.4	24.25	709.6	1157.6
438.4	31.10	719.5	1227.2
448.4	40.90	729.5	1299.5
458.3	49.82	739.4	1373.0
468.3	62.22	749.4	1447.1
478.2	76.59	759.4	1521.0
488.2	93.59	769.4	1596.2
498.2	116.1	779.3	1673.1
508.1	135.6	789.3	1751.4
518.1	161.2	799.3	1829.2

表 3: 既成品 pn 接合ダイオードの順方向 I - V 特性 (閾値以上)

電流 [mA]	電圧 [V]
0.9996	0.5838
1.099	0.5883
1.199	0.5921
1.300	0.5958
1.400	0.5990
1.499	0.6022
1.599	0.6051
1.699	0.6077
1.799	0.6099
1.899	0.6122
1.999	0.6130
9.996	0.6900
19.989	0.7201
29.988	0.7371
39.984	0.7489
49.984	0.7579
59.96	0.7652
69.95	0.7712
79.94	0.7763
89.93	0.7806
99.93	0.7846

表 4: 既成品 pn 接合ダイオードの逆方向 I - V 特性

電圧 [mV]	電流 [ $\mu$ A]
-0.640	0.06
-49.36	0.06
-99.30	0.06
-144.18	0.06
-199.06	0.06
-248.91	0.06
-298.78	0.06
-348.56	0.06
-448.31	0.06
-498.15	0.06
-548.1	0.06
-597.9	0.06
-649.8	0.06
-5000	0.06
-10 000	0.06
-20 000	0.06
-25 000	0.06

## 4.2 作成した pn 接合の順方向・逆方向 I - V 特性

表 5: 引き上げ速度 1 mm/s における pn 接合の順方向 I - V 特性 1

電圧 [V]	電流 [ $\mu$ A]
0.0000	-71.95
0.1991	-34.33
0.2191	-14.50
0.2490	-5.970
0.2988	23.95
0.3496	59.33
0.3995	88.90
0.4194	101.8
0.4394	115.8
0.4593	129.6
0.4793	143.6
0.4992	159.6
0.5191	176.2
0.5391	192.2
0.5590	209.6
0.5789	228.1
0.5989	246.7
0.7993	485.4
0.9996	808.2

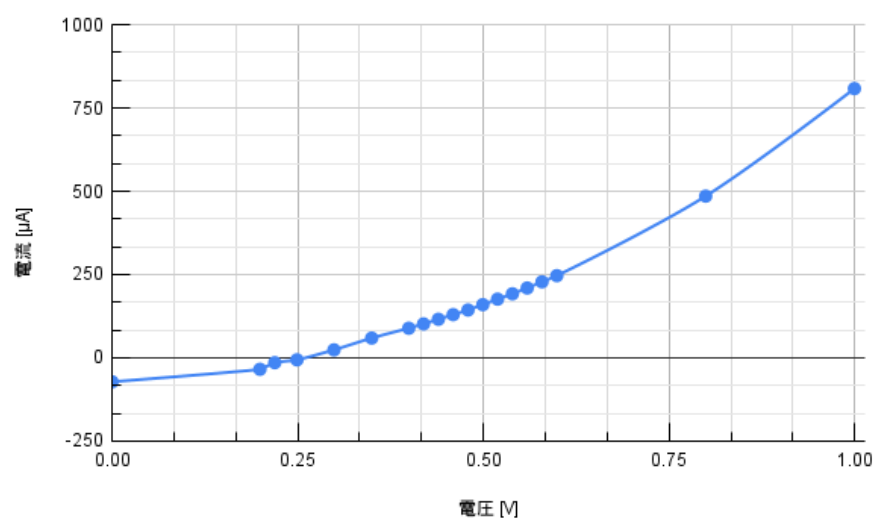


図 1: 引き上げ速度 1 mm/s における pn 接合の順方向 I - V 特性図 1

表 6: 引き上げ速度 1 mm/s における pn 接合の逆方向 I - V 特性 1

電圧 [V]	電流 [mA]
-0.0002	-0.056
-0.9997	-0.089
-2.000	-0.103
-2.999	-0.114
-3.999	-0.142
-4.999	-0.194
-5.199	-0.220
-5.400	-0.307
-5.599	-0.407
-5.799	-0.513
-6.001	-0.623
-6.199	-0.728
-6.400	-0.841
-6.599	-0.953
-6.800	-1.072
-7.000	-1.187
-8.000	-1.845
-9.000	-2.518
-10.00	-3.208

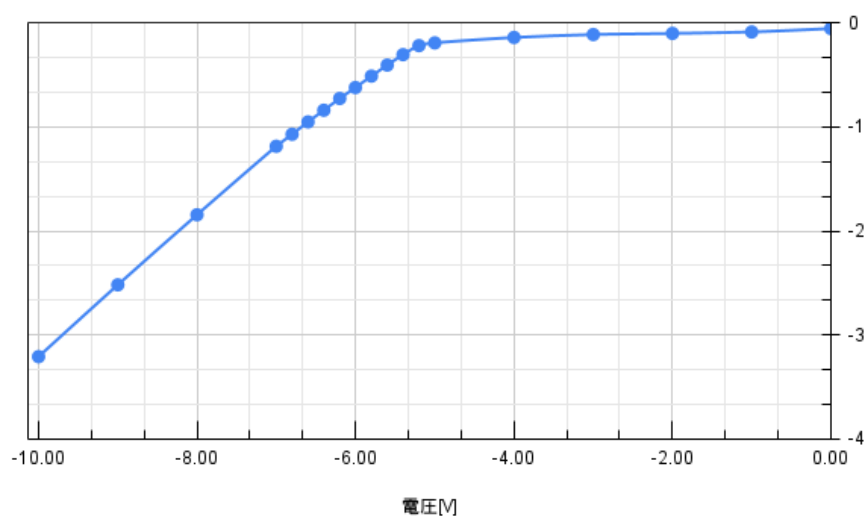


図 2: 引き上げ速度 1 mm/s における pn 接合の逆方向 I - V 特性図 1



表 7: 引き上げ速度 1 mm/s における pn 接合の順方向 I - V 特性 2

電圧 [V]	電流 [mA]
0.0000	-52.45
0.1991	-21.37
0.2499	-0.820
0.2988	50.16
0.3496	138.6
0.3995	249.1
0.4493	379.3
0.4992	530.3
0.5490	695.8
0.5989	872.7
0.7993	1666.6
0.9997	2533.6

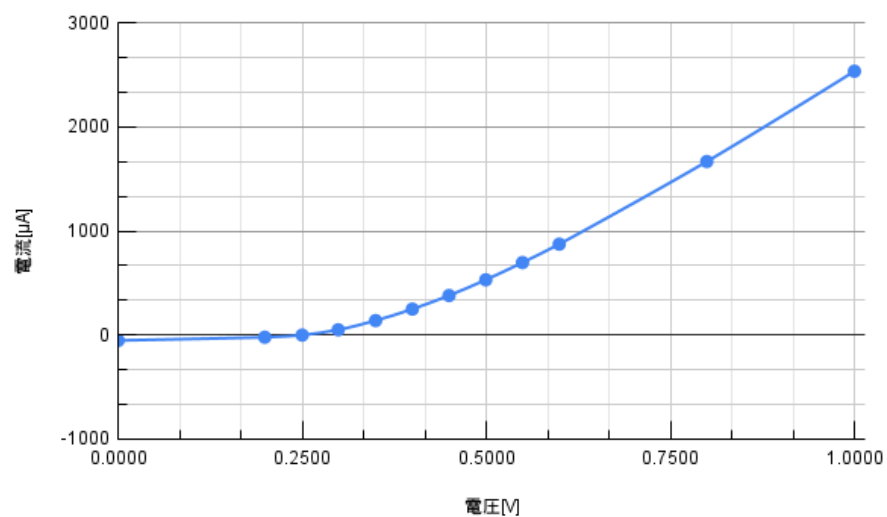


図 3: 引き上げ速度 1 mm/s における pn 接合の順方向 I - V 特性図 2

表 8: 引き上げ速度 1 mm/s における pn 接合の逆方向 I - V 特性 2

電圧 [V]	電流 [mA]
0.000	-0.048
-1.000	-0.062
-1.999	-0.073
-2.999	-0.111
-3.999	-0.16
-4.499	-0.226
-4.999	-0.267
-5.500	-0.337
-6.000	-0.415
-7.000	-0.588
-8.000	-0.793
-9.000	-1.016
-10.00	-1.263

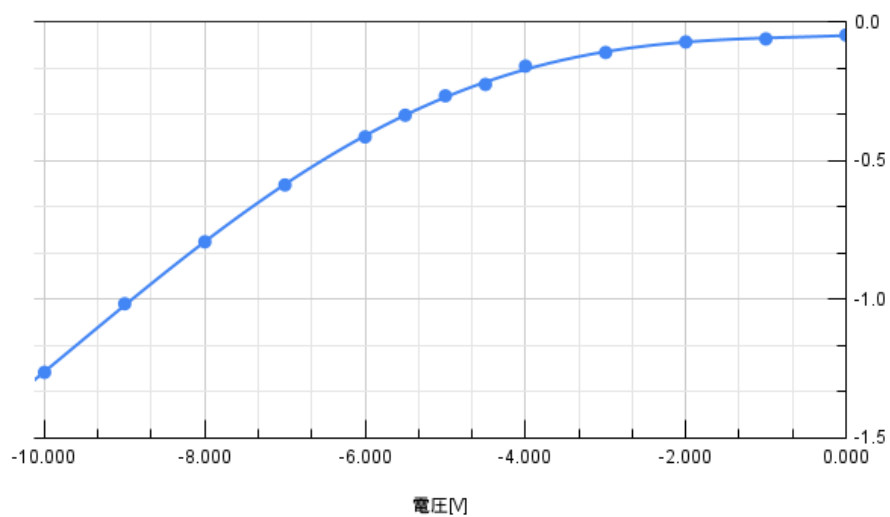


図 4: 引き上げ速度 1 mm/s における pn 接合の逆方向 I - V 特性図 2

表 9: 引き上げ速度 0.1 mm/s における pn 接合の順方向 I - V 特性

電圧 [V]	電流 [ $\mu$ A]
0.002	-40.89
0.1991	-2.120
0.2090	0.07
0.2191	6.950
0.2290	17.13
0.2390	24.75
0.2490	35.18
0.2589	41.82
0.2689	53.44
0.2789	65.74
0.2888	78.69
0.3197	123.1
0.3397	158.1
0.3596	193.7
0.3796	231.1
0.3995	272.7
0.5989	768.8
0.7993	1373.1
0.9997	2033.4

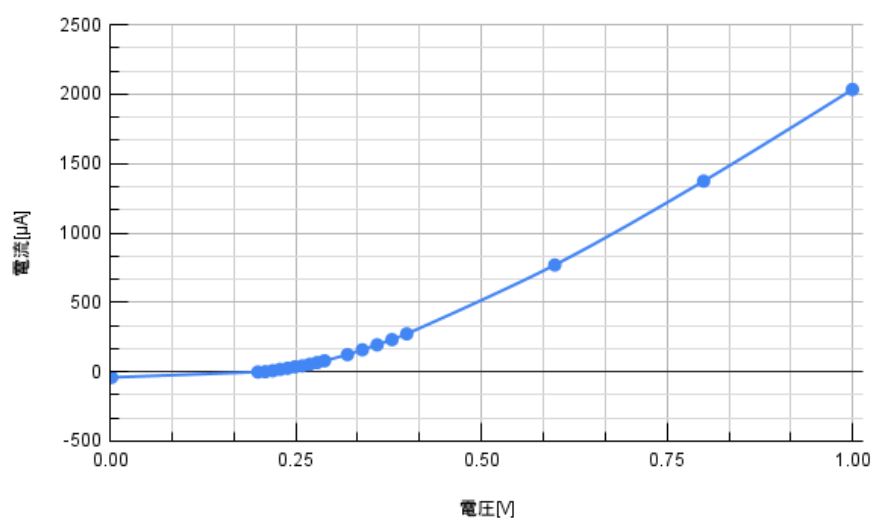


図 5: 引き上げ速度 0.1 mm/s における pn 接合の順方向 I - V 特性図

表 10: 引き上げ速度 0.1 mm/s における pn 接合の逆方向 I - V 特性

電圧 [V]	電流 [mA]
0.000	-0.0490
-1.000	-0.0750
-2.000	-0.1200
-3.000	-0.1760
-4.000	-0.2660
-5.000	-0.3770
-5.499	-0.4430
-6.001	-0.5200
-6.500	-0.5910
-7.000	-0.6810
-8.000	-0.8750
-9.000	-1.265
-10.00	-1.835

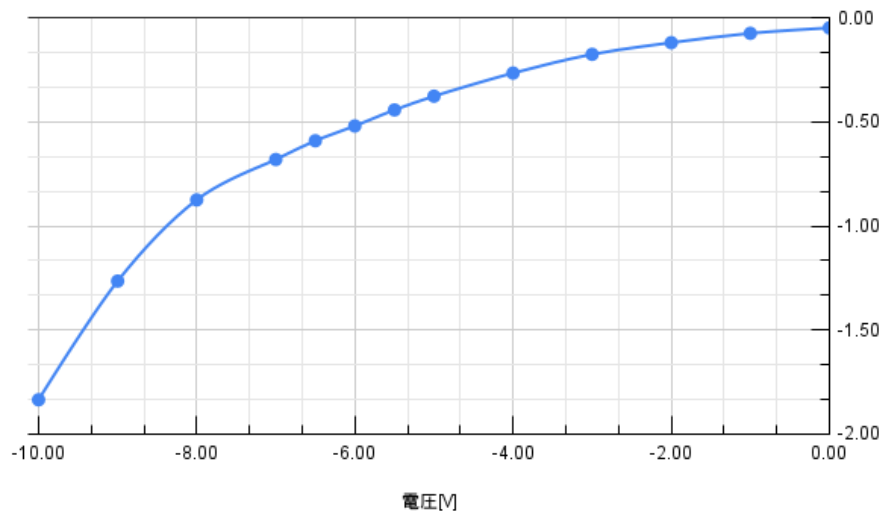


図 6: 引き上げ速度 0.1 mm/s における pn 接合の逆方向 I - V 特性図

## 5 考察

### 5.1 pn 判定

### 5.2 I - V 特性

### 5.3 片対数の結果

## 6 感想

今回の実験では 4 年次に学んだホットプローブ法を用いて簡易的に pn 判別を行った。実際に pn 判定が行えることが確認できてとても興味深かったです。

## 参考文献

- [1] 西 敬生「実験実習指導書」神戸高専電子工学科 pp.15-16