

## A1. 半導体と電子回路の基礎（2021 年 4 月 26 日）

03210454 電子情報工学科 3 年生 平岡拓海

共同実験者：勝間田里菜、木原冬輝、ブディオノ・クリスチャン・ミレニュー

### < 考察課題 >

#### 1. ダイオード（pn 接合）の測定

図 1 のような回路を組み、pn 接合ダイオードの電流電圧特性を測定する。順バイアスと逆バイアス、それぞれ測定する。

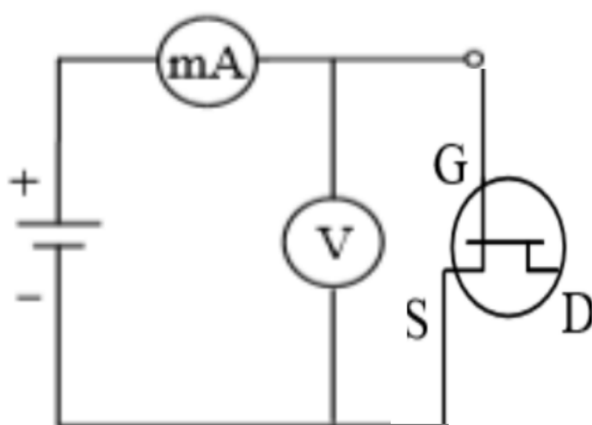


図 1 pn 接合ダイオードの回路図

まずは、順バイアス時の電流電圧特性を図 2 に示す。

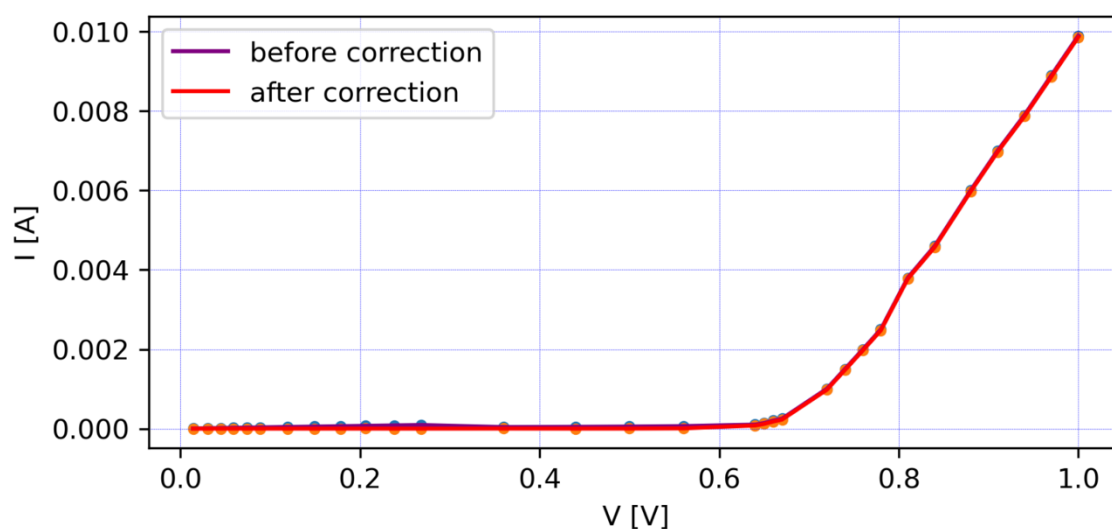


図 2 pn 接合ダイオードの順バイアス時の電流電圧特性

紫の線が修正前、赤の線が修正後を表す。赤い線と紫の線がほとんど一致していることから、電圧計、電流計の内部抵抗を考慮した修正前後でほとんど電流電圧特性が変わっていないことがわかる。

次に逆バイアス時の電流電圧特性を図3に示す。

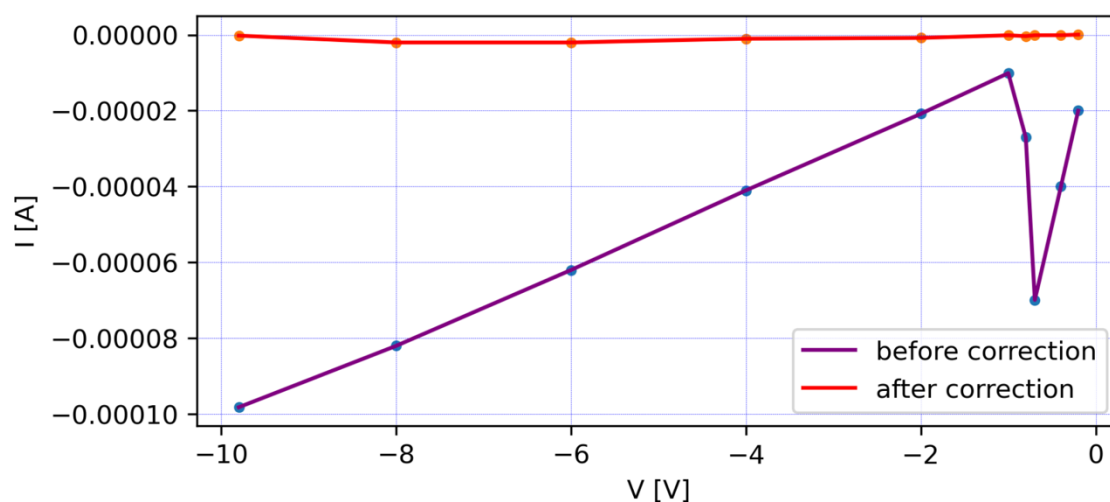


図3 pn 接合ダイオードの逆バイアス時の電流電圧特性

図3からは、修正前は電圧が負の方向に大きくなるとともに、電流も負の方向に大きくなっているが、-2~0Vの範囲で谷ができており、グラフとして不安定で特性がわかりにくい。一方で、修正後は電圧の値によらず電流が0A付近で一定であることからダイオードの逆バイアス時は、電流がほとんど流れないことがわかる。ただ、グラフをよくみると電流が負になることもあることから、逆バイアス時も電圧をかけた方向、つまりn型半導体からp型半導体の方向に微小な電流が流れることがわかる。

順バイアス時と逆バイアス時の電流電圧特性を一つのグラフにまとめると図4のようになる。

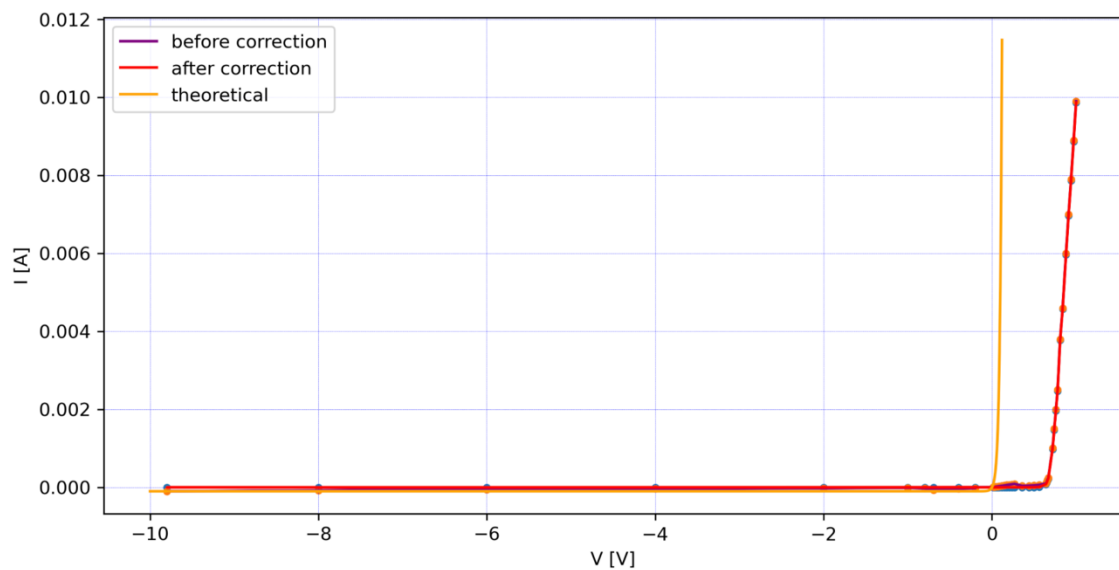


図4 pn ダイオードの電流電圧特性

黄色の線は理論曲線である。 $I=I_s \left( \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right) \cdots (1-1)$ という式を用いて理論曲線を引いた。この際、逆方向飽和電流を  $I_s=1.0 \times 10^{-6} \text{A}$  と設定した。実測値と理論値を比較すると、0V まではどちらもほぼ 0A であるが、0V に達すると理論曲線だと急激に電流が増えるが、実測値だと 0.6V まではほぼ 0A であるが 0.6V 付近から電流が増え始めていることがわかる。pn 接合型（シリコン）ダイオード特性としては、このように順方向電圧が 0.6V となっているのは正しいと言える。理論線だとダイオード内の抵抗を考慮していないため、順方向電圧という閾値電圧が存在していない。また、理論曲線に比べて実測曲線の方が電流が増えるときの傾きが小さくなっており、この原因は直列内部抵抗による効果だけでなく、高注入効果、空乏層でのキャリア再結合効果が考えられる。

## 2. 接合型電界効果トランジスタの測定

図5のように回路を組むことで、接合型電界効果トランジスタのドレイン・ソース間電圧  $V_{ds}$  とドレイン電流  $I_d$  の関係を、様々なゲート・ソース間電圧の元で測定する。

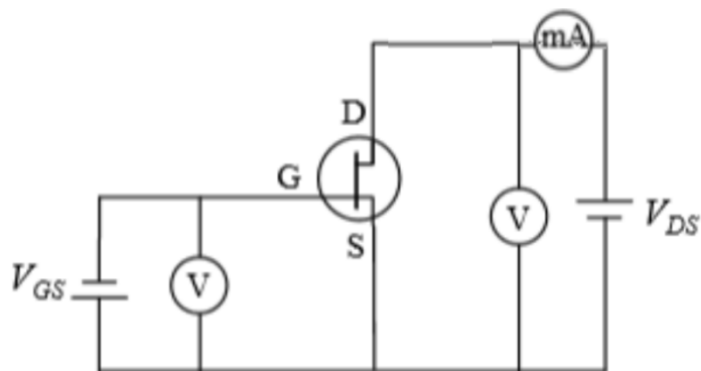


図5 接合型電界効果トランジスタの回路図

この回路図を元に回路を組み、ドレイン・ソース間電圧  $V_{ds}$  とドレイン電流  $I_d$  をゲート・ソース間電圧を変えながら計測したグラフが図6である。

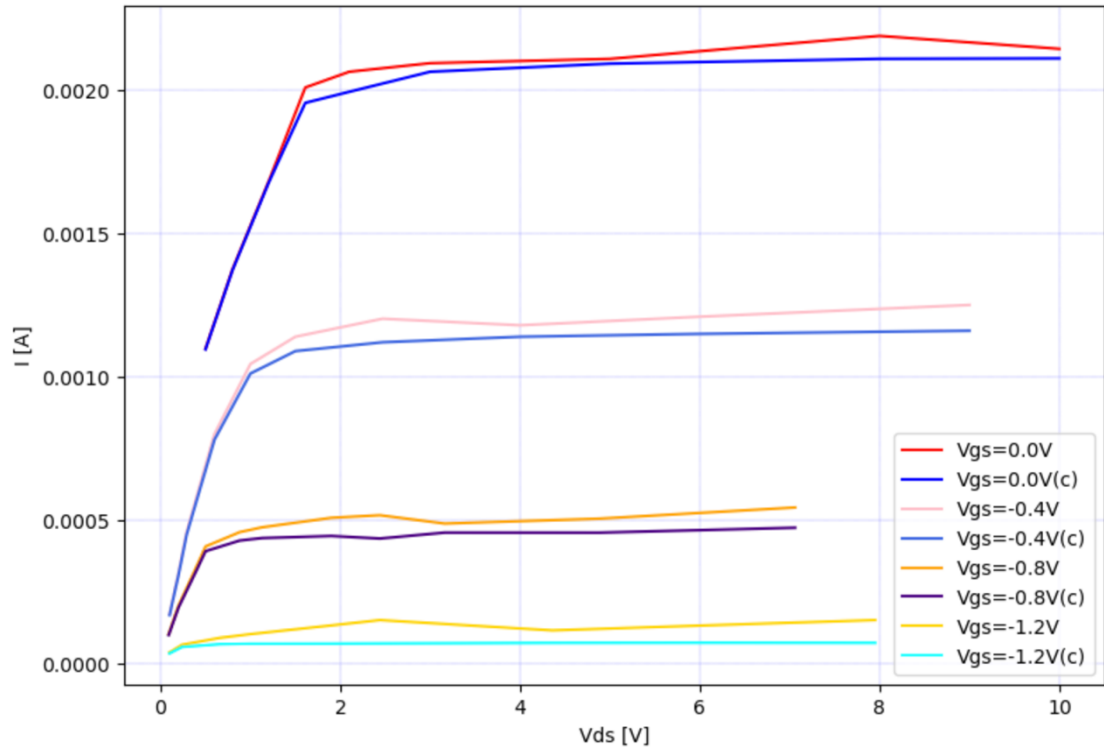


図6 ドレイン・ソース間電圧  $V_{ds}$  とドレイン電流  $I_d$  の関係

暖色が補正前で、寒色が補正後である。また上から順に、ゲート・ソース間電圧が 0.0V, -0.4V, -0.8V, -1.2V となっている。補正後の方が少し電流が小さくなってはいるものの、補正前後でそれほど変わっていない。またドレイン・ソース間電圧を大きくしていくと、ある点でそれ以上電流が大きくなりなくなり、一定の値を取るようになる。つまりピンチオフを観測することができている。ピンチオフが生じるのは、 $V_{ds}$  が大きくなるにつれ、チャネル中の電子が空乏層から追い出されて、電流が流れにくくなるためである。また、ゲート・ソース間の負電圧が大きくなるほど、電流が小さくなることがわかる。これは  $V_{gs}$  を負の方向に大きくすると、チャネルの空乏層の広がりが大きくなり、より小さな  $V_{ds}$  でピンチオフが生じるようになるからである。

#### <参考文献>

- [1] 東京大学工学部, 「電気電子情報第一(前期)実験 テキスト」 p51~61, 2021 年 4 月
- [2] サヌキテックネット, 「2-3 ダイオード」, 2017 年, <https://sanuki-tech.net/make-electronics/parts/diode/>