

シリコンフォトダイオードにおける シリコン高効率発光条件の考察

杉下 裕磨[†] 山中 健太郎[†] 犬飼 圭祐[†] 五島 敬史郎[†]
[†] 愛知工業大学大学院 電気電子工学専攻

1. はじめに

現在、LED や半導体レーザなどの発光デバイスに用いられているのは主にⅢ-V族半導体である。これは、Ⅲ-V族半導体のバンド間遷移が直接遷移型であり、高効率な発光を実現可能だからである。一方、間接遷移型半導体であるシリコンはフォノンによる遷移を介さなければならず効率が大幅に低下する。このため、シリコン発光デバイスは未だに実用化されていない。シリコンの利点は低コスト・無害・安価という点であり、シリコン発光デバイスが実用化されれば既存の半導体設備の流用で光集積回路の構成が可能になる。

本研究では発光ダイオードと構造が類似しているシリコンフォトダイオード(SiPD) を利用することでシリコンが高効率で発光する条件を解明することを目的としている。

2. 発光特性

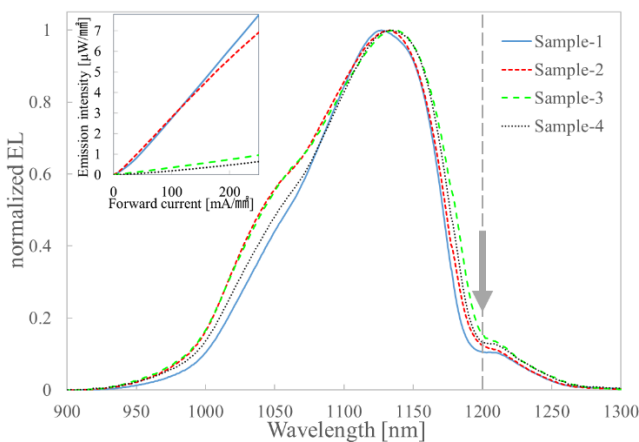


図1. PIN 接合の発光スペクトル及び I-L 特性

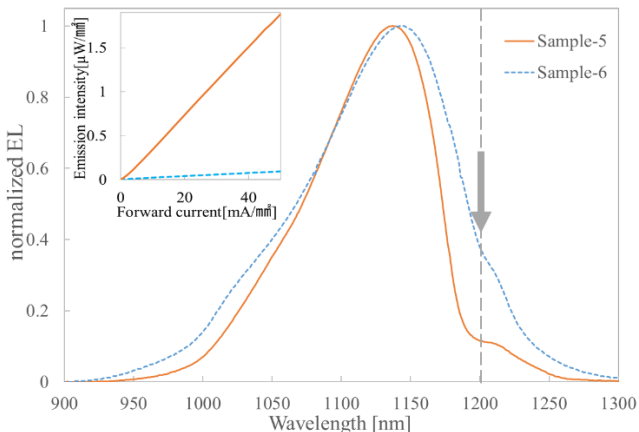


図2. PN 接合の発光スペクトル及び I-L 特性

SiPD に順方向電流を流すことにより、赤外領域(約1130[nm])で発光することが確認できた。SiPD の PIN 接合型と PN 接合型における発光スペクトル及び単位面積あたりの I-L 特性をそれぞれ図1、図2に示す。I-L 特性から PN、PIN 接合型の双方において発光効率に約 7~19 倍の明確な差が出た。これより、数種類の SiPD の特性を比較することでシリコン高効率発光条件の解明が可能であると考えた。また、発光効率が高い Sample-1, Sample-2, Sample-5 の発光スペクトルは短波長側にシフトし、1200[nm]付近の EL 強度が小さい傾向にあることがわかる。

3. 空乏層幅測定

空乏層幅の算出には C-V 法を用いた。ダイオードの単位面積あたりの接合容量を C_j 、真空の誘電率を ϵ_0 、シリコンの比誘電率 ϵ_s をとした時、空乏層幅 W は

$$W = \frac{\epsilon_0 \epsilon_s}{C_j}$$

で求めることができる。C-V法によりSiPDの端子間容量を測定し、おおよその空乏層幅を算出した。

表1. SiPD の端子間容量から算出した空乏層幅

サンプル名	端子間容量 [pF/mm ²]	空乏層幅 [μm]
Sample-1(PIN)	35.26	2.96
Sample-2(PIN)	15.50	6.74
Sample-3(PIN)	10.85	9.63
Sample-4(PIN)	11.10	9.41
Sample-5 (PN)	104.58	1.00
Sample-6 (PN)	25.24	4.14

4. まとめ

数種類のサンプルを発光効率・発光スペクトル・空乏層幅の 3 点において比較を行った。これにより PN 型・PIN 型の双方において発光効率が高いサンプルは空乏層幅が狭い結果となった。空乏層が広いとキャリアの移動距離が長くなり、ここで効率の低下が発生していると考えられる。また、発光スペクトルは SiPD にドーパされている不純物の種類や濃度によって変化していると考えられる。そのため、SiPD にドーパされている不純物の特定など、空乏層幅や発光スペクトル以外にも発光に寄与するメカニズムの解明が重要である。