

スパッタ法により成膜した SiN, Sn 積層膜のフォトルミネッセンス特性

Photoluminescence properties of SiN and Sn stacked films fabricated by sputtering method

○萩原広隆¹, 高橋芳浩²*Hiroataka Hagiwara¹, Yoshihiro Takahashi²

Abstract: The photoluminescence properties of thermal annealed SiN/Sn/SiN stacked files with changing Sn layer thickness were investigated. It was confirmed that the strong photoluminescence intensity could be observed in the sample with thick Sn layer.

1. 研究背景

現在の LED などの発光デバイスは、窒化ガリウム (GaN) やガリウムヒ素 (GaAs), インジウム燐 (InP) などの化合物半導体が用いられている。これらは直接遷移半導体のため高い発光効率を持つ反面、有害物質や希少金属である。そこで、安価で安全なシリコン (Si) 系材料を用いた発光デバイスの作製が求められている。さらに、Si は現在の電子デバイスに幅広く使用されているため、Si 系発光デバイスの実現によって光電融合回路が実現でき、電子デバイスの更なる省電力化や高速化などが期待できる。

Si などの間接遷移半導体は発光効率の低さから、一般に発光素子には適さないとされている。しかし、量子サイズ効果を利用したポーラスシリコンや、Si 系材料への不純物の導入などにより、可視領域で発光することも明らかになっている。

我々はこれまでに、真空蒸着法やマグネトロンスパッタリング法などで Si 系絶縁膜および IV 族元素である Sn を成膜し、熱処理により Sn を拡散させることで、可視領域でのフォトルミネッセンス (Photoluminescence:PL) を確認してきた。特に、マグネトロンスパッタリング法で成膜した SiN/Sn/SiN 積層膜において強い発光を確認した。また、膜中における Sn の含有率増大に伴い、発光強度が増大することも確認している。^[1]

そこで本研究では、SiN/Sn/SiN 積層膜において、さらなる発光強度の増大を目的として、成膜時の Sn の膜厚を変化させた際の発光特性の評価を行った。

2. 実験方法

n 型 Si 基板 (面方位<100>, 抵抗率 1~10Ωcm, 寸法 1×1cm) を洗浄後, 3 元スパッタ装置により SiN/Sn/SiN 積層膜を成膜した。Fig. 1 に成膜した素子断面図を, Table. 1 にスパッタ条件を示す。従来の条件では Sn 層の製膜時間は 30 min であったのに対して今回は 15, 60min とした成膜も行い, Sn 膜厚を変化させた試料を作製した。成膜後の基板に対して, RTP (Rapid Thermal Processing) 装置を用いて常圧窒素雰囲気中において, 700~1000°C (100°C step) で 5min の熱処理を行い試料を作製し, 各熱処理後において PL 特性測定を行った。なお, PL の励起光源には波長 325nm の He-Cd レーザーを用い, CCD を検出器とする分光器により発光スペクトルを評価した。また, X 線光電子分光法 (XPS) にて各試料の組成分析も行った。

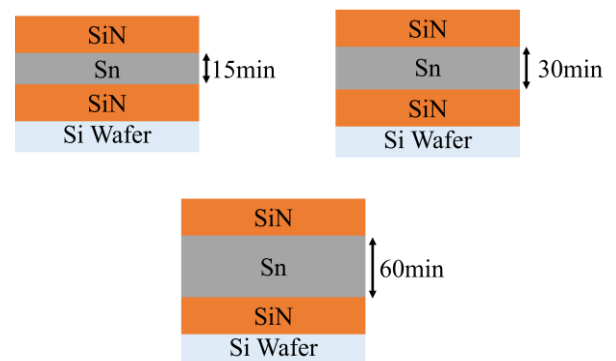


Figure 1. Cross section of samples

Table 1. Sputtering conditions

Target	Power [W]	Reaction pressure [Pa]	Time [min]	Ar flow rate [ccm]
SiN	80	0.5	30	10
Sn	50		15	
			30	
			60	

3. 結果・考察

Fig.2 に SiN/Sn/SiN 積層膜 (Sn の成膜時間 : 30min) の PL 特性を示す。Fig.2 より、発光波長は熱処理温度によらず、560nm 付近でピークが現れ、熱処理温度が 900°C で発光強度が最大となることが確認された。

Fig.3 に Sn の成膜時間を 15min とした試料の PL 特性を示す。発光波長は熱処理温度によらず、560nm 付近でピークが現れ、熱処理温度が 800°C で発光強度が最大となることが確認された。

Fig.4 に Sn の成膜時間を 60min とした試料の PL 特性を示す。発光波長は熱処理温度によらず、560nm 付近でピークが現れ、熱処理温度が 1000°C で発光強度が最大となることが確認された。そこで、さらに 1100°C で熱処理をしたところ、発光強度が一層増大したため、熱処理温度をより高くすることで発光強度向上の可能性が示唆された。

Fig.5 に各試料において発光強度が最大となった温度での熱処理後における PL 特性を示す。発光強度は、試料の Sn の成膜時間が 60min > 30min > 15min の順になることが確認され、同じ膜構造において Sn の膜厚を厚くするほど発光強度が高くなることが分かった。

また、XPS による組成分析の結果から、各試料における Sn のスペクトル形状を比較したところ、大きな差異は認められなかった。この結果から、Sn が存在する深さが発光に寄与しており、より深部まで Sn が存在する場合に発光強度が増大する可能性が示唆される。今後、深さ方向に対する PL 特性の評価を行い、発光に寄与する領域について検討を進める予定である。

さらに、SiN 中における N の含有率が極めて低く、O が多く混入していることが明らかになった。これまで、Si 系絶縁膜としては SiO₂ よりも SiN を用いた方が発光強度が高くなることが報告されてきたが^[1]、本研究では改めて、SiO₂ および SiN を用いて試料を作製した場合の PL 特性の比較を行う必要があると考えている。

4. まとめ

スパッタ法により Si 基板の上に SiN, Sn 積層膜を成膜し、熱処理により Sn を拡散した試料の PL 特性測定および組成分析を行った。その結果、Sn の膜厚により発光強度が変化し、膜厚が厚いほど発光強度が高くなることを確認した。

参考文献

- [1] 吾妻満順, 他 : 「スパッタ法により成膜した Sn 添加 Si 系絶縁膜の PL 特性」, 日本大学理工学部学術講演会予稿集, C-8, 2022

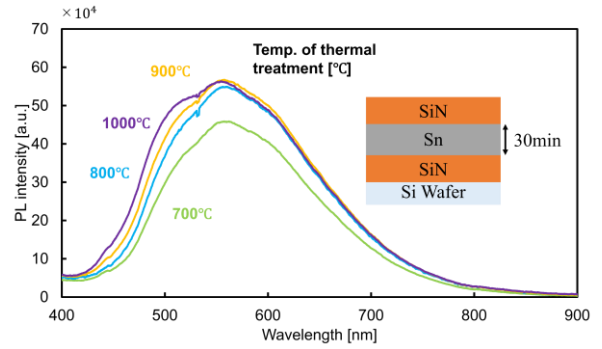


Figure 2. PL spectra of annealed SiN/Sn/SiN stacked films (Sn deposition time: 30 min)

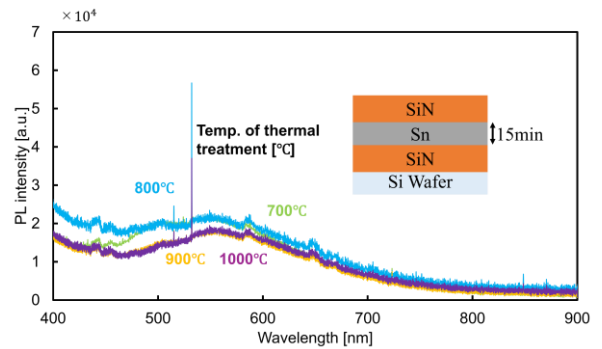


Figure 3. PL spectra of annealed SiN/Sn/SiN stacked films (Sn deposition time: 15min)

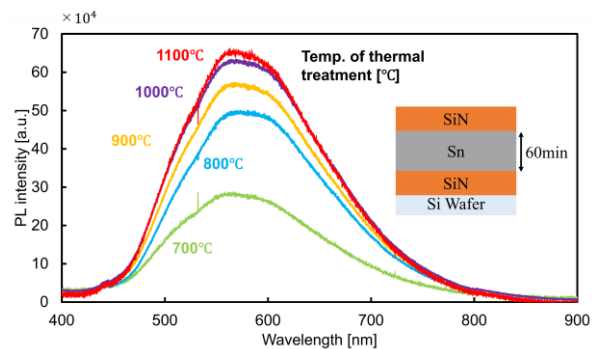


Figure 4. PL spectra of annealed SiN/Sn/SiN stacked films (Sn deposition time: 60 min)

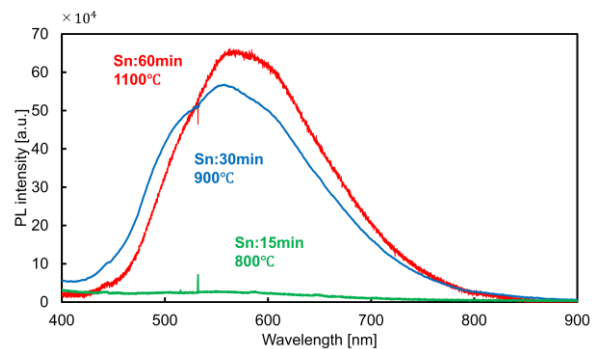


Figure 5. PL spectra of annealed SiN/Sn/SiN stacked films with changing Sn layer thickness