

Si基板上に面内配置されたSiO₂/Sn膜の発光特性
Luminescence characteristics from patterned SiO₂/Sn films on Si substrate

○秋山和也¹, 秋山陽一¹, 滝島正博², 遠山大地², 高橋芳浩³

* Kazuya Akiyama¹, Youichi Akiyama¹, Masahiro Takishima², Daichi Toyama², Yoshihiro Takahashi³

Abstract : The device in which SiO₂ and Sn films were patterned on Si substrate by lithography was manufactured and evaluated luminescence characteristics and electric characteristics after annealing. We observed PL emission which was similar to SiO/Sn/SiO₂ stacked layer structure. Furthermore, EL emission was also observed by the device with transparent electrode.

1. 研究背景

現在用いられている主な発光素子は化合物半導体であり, GaN(窒化ガリウム), GaAs(ガリウムヒ素), InP(インジウム燐)等が挙げられる. これらの化合物半導体は, 発光効率が良いが, 希少金属を用いているため高価であり, さらに有害物質を含んでいる. また, 結晶の欠陥が多いことから歩留まりが悪い, プロセス技術が困難であることが挙げられ, 高集積化が困難である. ここで, 無害かつ資源豊富で安価であるSiを用いた発光素子を作製することができれば, 発光素子と電子機能素子を融合した光電子集積回路が実現し, 電子デバイスの更なる高速化, 集積化が期待できる.

これまでに SiO/Sn/SiO₂構造に熱処理を行い, Sn を拡散させることで PL(Photoluminescence)発光が観測できることが確認されている[1]. しかし, このような構造では, Sn の凝集により PL 発光は場所によってバラツキが生じ, デバイスとしては扱いづらいものとなる. また, 絶縁膜中への Sn の拡散による発光体の形成であるため, EL(Electroluminescence)発光の観測は難しいと考えられる. 本研究では, Sn の大きな凝集を抑え, 任意の場所へ発光体を形成するため, リソグラフィ技術を用いて, Sn 膜のパターニングを行い, この構造における発光特性および電気的特性の評価を行った.

2. 実験方法

図1に素子作製手順および評価方法を示す. 基板には n 形 Si (2.5 ~ 3.5 Ω · cm , 面方位<100>)を使用した. RCA 洗浄後, Dry 酸化法により SiO₂膜を 75 nm 製膜した. 次に, 図2のフォトマスクを用いて, SiO₂膜のリソグラフィを行った後に, 抵抗加熱型真空蒸着法により Sn 膜を 50 nm or 75 nm 製膜し, リフトオフ法によって直径 50~500 μm の円形パターンを形成した. 製膜後, RTP (Rapid Thermal Processing)装置により大気圧 N₂ 雰囲気中にて 900 °C, 5 min (熱処理温度到達時間 : 40 sec) の熱処理を行った. また, リフトオフ法によって ITO 膜のパターニングを行い, Si 基板裏面には抵抗加熱型真空蒸着法により Al 膜を製膜した. 素子構造 (断面図) を図3に示す.

作製した素子に対してエリプソメータによる膜厚測定, PL 法による発光スペクトル測定を行った. PL の励起光源には波長 325nm の He-Cd レーザを用い, CCD を検出器とする分光器により発光波長分析を行った. また, 電流特性測定による絶縁性評価および EL 発光の観測を行った.



Figure1. Manufacturing procedure and evaluation method

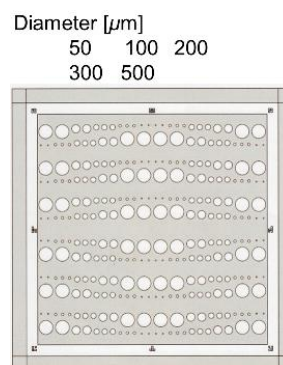


Figure2. Photomask pattern

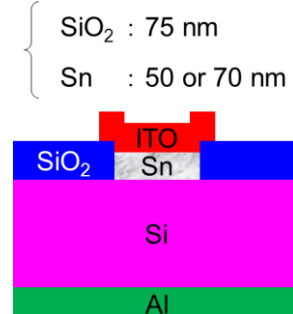


Figure3. Device structure

1 : 日大理工・院・電子 2 : 日大理工・学部・子情 3 : 日大理工・教員・子情

3. 結果, 考察

・ PL 特性

Sn 膜厚を 50 nm, 70 nm としたときの PL 特性を図 4 に示す。結果より, 900°C で熱処理を行うことで, SiO₂/Sn/SiO₂ 構造と同様に波長約 400 nm, 550 nm をピークとする発光スペクトルが観測され, 発光体の形成が確認できたが, 発光強度は非常に弱いものとなった。また, Sn 膜製膜部分に関してはどの場所でも PL 発光が観測され, 直径が同じものに関しては大きな発光強度の違いは見られなかったため, バラツキが抑制されたといえる。ここで, 波長約 550 nm の発光起源は SnO_x によるもの, 波長約 400 nm の発光起源は Sn によって酸化膜中に形成された不純物準位によるものと考えられている。また, Sn 膜厚の増加に伴い, 波長約 400 nm をピークとする発光強度の大きな増加が見られた。これは, Sn 膜厚を増加させることで Sn-SiO₂ 界面付近に形成される発光体が増加したためと考えられる。

・ 電気的特性

Sn 膜厚 50 nm における電流-電圧特性 (パターン直径依存性) を図 5 に示す。パターン直径の減少に伴い, 膜の導電性が低下し, 直径 50 μm においては, 高い絶縁性を示すことがわかる。また, 電極直径 50 μm 以外のものに関しては, 8 mA 程度の電流を流すと, Sn-SiO₂ 界面付近に青白い発光, Sn 面内に点々とオレンジ色に発光することが顕微鏡にて観測された。さらに, これらの発光が, 発光体による EL 発光ではなく, 絶縁破壊に起因した発光である可能性があるため, 確認として印加電圧を 25 V 一定とし, 時間に対する電流値の変化を測定した。結果を図 6 に示す。結果より, 電圧印加による絶縁性の変化は確認されず, また, 本測定後に電圧を再印加しても同様の発光が観測されたため, 観測された発光は発光体による発光であるといえる。よって, SiO₂-Sn 界面付近および熱処理後の Sn 膜内に形成された発光体へキャリア注入が行われたことによる EL 発光であると考えられる。Sn 添加 Si 系デバイスにおいては, 初めて EL 発光を観測した。これらの結果は, 波長約 550 nm の発光起源は SnO_x によるもの, 波長約 400 nm の発光起源は Sn によって酸化膜中に形成された不純物準位によるものであるという, これまでに得られた結果を支持するものである。

4. まとめ, 今後の方針

Sn 膜をパターンニングすることで, Sn の大きな凝集を抑え, PL 発光の面内バラツキを改善することができた。さらに, SiO₂-Sn 界面付近に形成された発光体へのキャリア注入ができ, EL 発光を観測することができた。また, Sn 膜厚を増やすことによって, 波長約 400 nm をピークとする PL 発光強度が増加することがわかった。

今後は, さらに Sn 膜厚を増加させた構造や, Sn 膜の下地として SiO 膜を製膜した構造における発光特性および電気的特性の評価を行う予定である。

5. 参考文献

[1] 五十嵐 健太郎: 平成 20 年度 日本大学院理工学研究科 修士論文

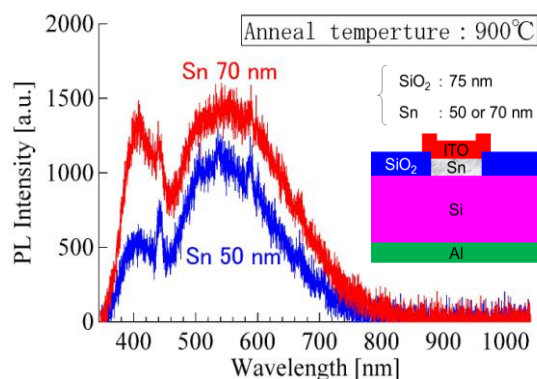


Figure4. PL characteristics

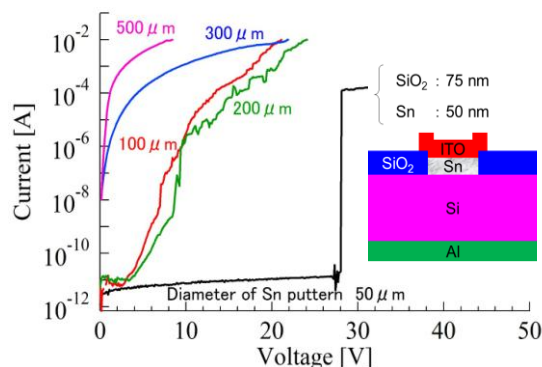


Figure5. I-V characteristics

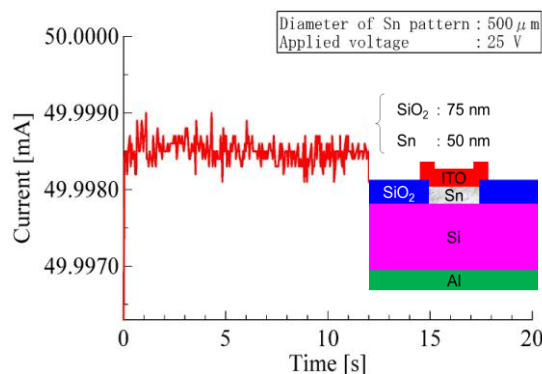


Figure6. I-t characteristic