



Title	Visible Light Emission from Silicon-Based Optoelectronic Thin Films
Author(s)	外山, 利彦
Citation	大阪大学, 1997, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3129110">https://doi.org/10.11501/3129110</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	外 山 利 彦
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 3 2 1 1 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 9 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 基礎工学研究科物理系専攻
学 位 論 文 名	Visible Light Emission from Silicon-Based Optoelectronic Thin Films (シリコン系機能薄膜材料からの可視域発光に関する研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 岡本 博明  (副査) 教 授 小林 猛 教 授 奥山 雅則

### 論 文 内 容 の 要 旨

シリコン系機能薄膜材料, 水素化アモルファスシリコン ( $a\text{-Si:H}$ ) ならびにナノ結晶シリコン ( $nc\text{-Si}$ ) に関する可視域における発光に関する基礎物性およびそのデバイス応用について一連の系統的な研究を行った。

まず, 2重絶縁型構造電界発光 (EL) 素子構造を用いて,  $a\text{-Si:H}$  からの室温での可視域発光を初めて観測した。発光スペクトル等の詳細な検討から, その発光機構は, ホットエレクトロンの伝導帯内遷移にともなう発光であるとの結論を得た。また, 電界変調光吸収測定により, 印加電圧に対する  $a\text{-Si:H}$  の内部電界の飽和および電界強度  $1\text{ MV/cm}$  以上での  $a\text{-Si:H}$  内部における移動電荷増倍を観測し, この移動電荷の増倍が,  $a\text{-Si:H}$  におけるアバランシェ増倍によるものと結論づけた。さらに, EL およびアバランシェ増倍両測定における温度特性ならびに  $a\text{-Si:H}$  系合金を用いた実験により, 構造乱れによる散乱が, 高電界下においても電子の走行に影響を与えると示唆する結果を得た。

次に, プラズマ CVD 法で作製した Si 薄膜を基に, さらに陽極化成処理した  $nc\text{-Si}$  からの赤色領域フォトルミネッセンス (PL) ならびに急速固層成長させた  $nc\text{-Si}$  からの青色領域 PL について詳細な実験を行い, その発光機構について検討を行った。陽極化成  $nc\text{-Si}$  では, ラマン散乱スペクトル形状の解析から, その平均粒径  $2.4\text{--}3.8\text{ nm}$  を得た。さらに, 粒径と PL 特性との相関から, 量子閉じ込め効果とナノ結晶表面準位との複合的な発光機構を推察した。また, 結晶粒径はプラズマ CVD 法の作製条件に大きく依存し, 陽極化成により表面準位が活性化することが示唆された。急速固層成長  $nc\text{-Si}$  薄膜では, 原子間力顕微鏡観測結果等から, 平均粒径  $50\text{--}100\text{ nm}$  を得た。さらに, 熱変調微分透過分光法により, PL 発光ピークと一致する光学遷移を観測し, 青色領域 PL は,  $nc\text{-Si}$  粒界上の局在準位間の遷移による発光であると推察した。

最後に, これらの基礎物性の知見を基に  $a\text{-Si:H}/\text{結晶 Si}$  ヘテロ構造フォトダイオード並びに  $nc\text{-Si}$  発光ダイオードの試作を行い, 増倍率 30 ならびに赤橙色の発光を得た。

### 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

シリコンは, 現在の半導体産業における最も主要な材料であり, また, メモリ, CPU といった結晶系デバイスか

ら、アモルファスシリコン (a-Si) に代表される薄膜トランジスタ、2次元受光素子マトリックスといった薄膜系デバイスへとその応用範囲は拡大の一途をたどっている。さらに、現在の情報化機器の要素技術である高感受光素子ならびに可視域発光素子開発に向けて、近年、新たな展開が起こっている。すなわち、a-Si 高感受度薄膜受光素子技術とナノ結晶シリコン (nc-Si) 可視域発光素子である。これらの新機能デバイスの開発は、大面積基板上に多くの素子モジュールを集積させるジャイアントマイクロエレクトロニクスというこれからの主要技術への更なる発展が期待されるものである。本論文は、a-Si および nc-Si 薄膜の室温可視域発光の発光現象に関する系統的な実験とその発光機構解析の結果をまとめた後、それらから得られた知見を応用した薄膜シリコン新機能デバイス開発およびデバイス性能の試験結果についてまとめたものである。

本論文では、まず、a-Si 高感受度受光素子開発における課題である電子の平均自由行程の極めて短い a-Si におけるアバランシェ増倍の発現の可能性について a-Si 高電界下での可視域発光を指針にして論じている。2重絶縁型 EL 素子構造を用いて、a-Si からの室温可視域発光を初めて観測し、発光スペクトル等の詳細な検討から、その発光機構が、ホットエレクトロンの伝導帯内遷移にともなう発光であるとの結論付けている。さらに、電界変調光吸収測定結果の解析により、電界強度  $1 \text{ MV/cm}$  以上での EL 素子内での電子増倍現象を観測し、a-Si におけるアバランシェ増倍を初めて実験的に証明している。さらに、EL およびアバランシェ増倍両測定における温度特性ならびに a-Si 系合金を用いた実験により、構造乱れによる散乱が、高電界下においても電子の走行に影響を与えると示唆する結果を得ている。

次に、nc-Si 発光素子開発のための課題である発光機構の解明に対して、赤色領域および青色領域発光を有する2種類の nc-Si の作製技術を確立した上で、光学的ならびに構造的手法を駆使して、詳細な実験を行っている。赤色領域 PL では、平均粒径と PL 特性との相関から、量子閉じ込め効果とナノ結晶表面準位との複合的な発光機構を推察している。また、nc-Si 薄膜の作製方法と発光機構との相関について論じている。また、青色領域 PL は、原子間力顕微鏡等の構造解析と熱変調微分透過分光特性の光学的手法を組み合わせた詳細な解析から nc-Si 粒界上の局在準位による遷移による発光であると推察している。

最後に、これらの基礎物性の知見を基に a-Si/結晶 Si ヘテロ構造フォトダイオードならびに p-i-n 構造 nc-Si 発光ダイオードの試作を行い、素子性能の評価を行っている。

以上の研究成果は、薄膜シリコン系新機能デバイス開拓の分野において先駆的な貢献をしたものであり、博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。