

(15) シリコン系アモルファス新材料の物性制御に関する研究

研究代表者 工学部 荻原千聡

研究目的

アモルファスシリコン系薄膜に光照射を行うと、欠陥生成等の構造変化がおこり、このことはデバイスとしての特性の劣化の原因となる。この問題の解決のため、欠陥生成を引きおこす光励起状態の研究は大変重要である。また、アモルファスシリコン系薄膜で欠陥生成の起こりにくい材料を得る方法として、人工的なナノメートルサイズの構造をつくり、光励起状態を制御することが考えられる。

昨年度までの研究で、アモルファスシリコン系薄膜の光励起状態のうち、特に、ナノ秒の寿命をもつ状態の寿命分布を測定した。今年度は、マイクロ秒領域の寿命分布を含めさらに広範囲な測定を行うとともに、人工的なナノメートルサイズの構造をもつ薄膜の作製を行い、アモルファスシリコン系薄膜の光励起状態と欠陥生成との関連を解明し、欠陥生成の起こりにくい薄膜を開発することを目的とした。

研究成果

今年度新たにプラズマCVD法によるa-Si:H系膜、特に人工的なナノ構造をもつ膜の作製を行った。原料には、水素で希釈したモノシランとアンモニアを用いた。これらを、マスフローコントローラーにより流量を制御して反応室に導入し、真空ポンプで排気を行った。反応室のガス圧力は500mTorrに調節し、反応室内の平行平板電極間で、高周波13.56MHzによる放電を行った。接地されている方の電極に合成石英等の基板を固定し、基板温度250°Cになるように温度制御を行い、基板上にa-Si:H系膜を堆積させた。

a-Si_{1-x}N_x:H膜における窒素の組成 x は、反応室内のアンモニアの混合比によって変化させることができる。マスフローコントローラーによる流量制御を行い、時間とともに水素希釈モノシランとアンモニアの流量を変化させることにより、 x が周期的

に変化した膜を作製することができる。このことを用いて x を正弦関数的に変化させた膜（バンド端変調構造膜）を作製するため、パソコンとD-Aコンバーターを用いて周期的に変化する制御電圧を作り、それをマスフローコントローラーへ送ることによりガスの流量制御を行うようにして、バンド端変調構造膜の作製を行った。

以下ではフォトルミネッセンスの寿命分布の測定とその結果について述べる。励起光源として、YAGレーザーの3倍波で励起したOPOレーザーからの波長500nm~800nmのパルス光を用いた。観測されるフォトルミネッセンスを、その強度のピーク付近である波長970nmから高エネルギー側（短波長側）である波長670nmの範囲で分光器で分光し、S₁型光電子増倍管を用いて検出した。ルミネッセンスの減衰をフーリエ変換することにより、近似的に寿命分布を求めることができる。パルスレーザーのパルス幅、形状、検出器の応答時間によって生じるルミネッセンスの減衰の信号波形への影響は、フーリエ変換を求める際に補正した。

昨年度は、a-Si:H系膜で、数ns程度の短い寿命をもつと考えられる発光の存在を確認している。今年度はフォトルミネッセンスの寿命分布を求めるための解析方法を改善して、1 μ s付近の寿命をもつ発光と、数ns程度の発光を分離して観測することが可能になった。

a-Si:H膜についての10Kでのバンド間励起による測定結果を図1に示す。たて軸 $-ImI(\omega)$ は、 $\tau=\omega^{-1}$ における寿命分布を近似的に表す。図1で、1.31eVのエネルギーの発光寿命分布を見ると、1 μ s上の寿命をもつ発光があることがわかる。これは、局在電子、正孔間遷移による発光と考えられる。また、高エネルギー側（1.77eV）では数nsの寿命をもつ発光が見られる。

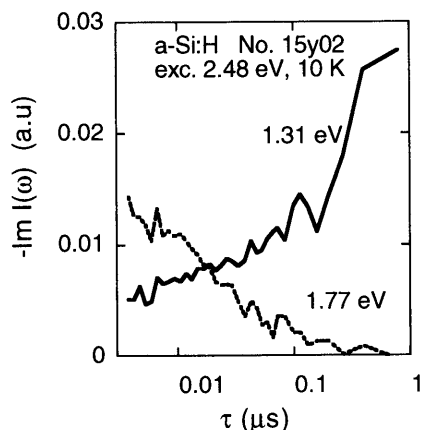


図1：a-Si:H のルミネッセンスの減衰のフーリエ変換の虚数成分 $-\text{Im}[I(\omega)]$ 対 $\tau=\omega^{-1}$ のプロット

次に a-Si_{1-x}N_x:H 膜での結果を図2に示す。この場合は、1.77 eV、1.31 eV の発光ともに、数 ns の寿命をもつ発光が支配的であることがわかる。

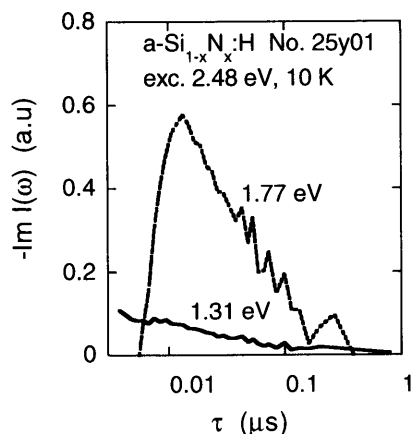


図2：a-Si_{1-x}N_x:H 膜のルミネッセンスの減衰のフーリエ変換の虚数成分 $-\text{Im}[I(\omega)]$ 対 $\tau=\omega^{-1}$ のプロット

また、数 ns 程度の寿命の発光は、a-Si_{1-x}N_x:H 系バンド端変調構造膜および a-Si:H/a-Si_{1-x}N_x:H 多層膜超格子でも、電子正孔閉じ込め効果が顕著な場合には、支配的になることが観測された。

窒素の組成の増加や、ナノ構造による電子正孔の閉じ込め効果により数 ns 程度の発光が支配的になるという結果は、この発光が1重項励起子によると考えるとよく説明でき、a-Si:H 系物質における励起子モデルを支持している。

さらに人工的な構造を様々に変化させた a-Si:H

系膜の作製を行い、電子、正孔の運動を制御し、励起子（1重項、3重項）や、局在状態の電子、正孔の状態ならびに緩和、フォトルミネッセンスの現象を調べ、光照射による構造変化との関連を調べることは今後の課題として残されている。

産業技術への貢献

エネルギー源の確保は産業において最も重要なものの1つである。環境への悪影響が少なく、安全かつ将来にわたって安定にエネルギーを供給する技術として、太陽光発電は最も期待されるものの1つである。太陽光発電に必要な大面積の半導体薄膜をつくるのに、アモルファスシリコンを材料とすれば製造コストが安くて済み、太陽光発電の普及において重要な役割を果たす可能性が大きい。光劣化などの問題点について、その原因となっている光励起状態を人工的に制御し、耐久性の優れた新しい材料を開発する場合に本研究の成果が役立つことが期待される。

研究発表

- 1) 竹村仁志、荻原千聡、森垣和夫：「パルスレーザーを用いた a-Si:H 系膜の発光の寿命分布の測定」；日本物理学会講演概要集、第53巻、第2号、p.151、1998.9
- 2) 竹村仁志、奥川政裕、荻原千聡、森垣和夫：「ナノ構造 a-Si:H 系薄膜における発光寿命分布の励起光波長依存性」；日本物理学会講演概要集、第54巻、第1号、印刷中

グループメンバー

| 氏名 | 所属 | 職 (学年) |
|-------|---------|--------|
| 荻原 千聡 | 工・共通講座 | 助教授 |
| 末岡 修 | 工・共通講座 | 教授 |
| 篠塚 雄三 | 工・共通講座 | 教授 |
| 竹村 仁志 | 理工・機能材料 | M2 |

連絡先

T E L : 0836-35-9973 ・ F A X : 0836-35-9492
E-mail : ogihara@putsuri.apsci.yamaguchi-u.ac.jp