

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 東 和文

本論文は RF プラズマ及び ECR プラズマ CVD 法を用いたアモルファス薄膜の形成とその構造評価に関するものであり、Si 系、C 系アモルファス薄膜の高速形成、界面制御と成膜機構の解明を行っている。また、極薄膜構造評価についても新たな手法を提案している。

第1章は序論であり、テトラヘドラル系アモルファス薄膜の基本的な特徴やその歴史的な背景を含めた応用に関して説明し、全体の問題の設定と研究の目的、方向付けがなされている。第2章では RF プラズマ CVD 法、ECR プラズマ CVD 法の特徴について述べ、本研究で行った薄膜評価方法についても詳細に説明している。そして第3章以降に具体的な研究成果を示している。最後の章は全体の総括と研究に関する将来展望を述べている。

第3章では、pin 型太陽電池の効率向上と低コスト化を目的として RF プラズマ CVD 法を用いて a-Si:H 及び微結晶 Si:H 膜の高速形成を検討した結果について述べている。初めにジシランを原料とした a-Si:H 膜の高速形成を行い、分解時に単位ジシラン流量当たりの供給エネルギーが小さいとシリレンの発生による挿入反応が支配的となり、膜の電気光学特性が低下することを示している。この流量で規格化した供給エネルギーを閾値 (100kJ/g) 以上に維持することで良好な光導電特性の膜を高速で形成できることも明らかにしている。一方、微結晶 Si:H は光劣化がなく長波長感度向上が期待される材料であるが、実用化には製造時間の短縮が必須である。本論文ではプラズマ密度と電子温度の増大により形成速度を大きくすると同時に、高い電子温度環境で副次的に発生しやすい気相反応をカソード加熱により抑制することに成功している。また、GeF₄ ガス添加により膜の結晶性向上と長波長域での光吸収増大が可能となることを見いだしている。

第4章では、RF プラズマに比べてプラズマ中の電子エネルギーが数倍大きい ECR プラズマにより、反応性の異なる SiH₄、GeH₄ を制御性良く均一に分解できることを示し、高い光導電率を有する狭ギャップ (<1.5eV) a-SiGe:H 膜を高速で得ることに成功している。更にこれまで良好な膜が得られないために議論されてこなかった a-SiGe:H 膜の光劣化挙動について初めて言及している。即ち a-SiGe:H 膜の光劣化は a-Si:H 膜の場合と異なり、初期の光導電率に関係なく膜組成でほぼ一義的に決まることを示している。また、膜中欠陥も組成に依らず Si、Ge 原子に関係する2つの欠陥から成ることを明ら

かにしている。

第5章では、第3章で導入した供給エネルギーの閾値の考え方を p/i 界面形成に応用して、実際に pin 型太陽電池の高速形成を行っている。i 層形成初期に閾値以上の供給エネルギーで徐々に流量と RF パワーを同時に上げることで界面での p 型 a-SiC:H 層からの B 原子の拡散を抑えることが可能となり、i 層 a-Si:H の膜質と界面損傷回避を両立できる結果を得ている。その結果短波長感度の優れた太陽電池の作製が実現でき、研究当時の NEDO 委託研究目標である「i 層成膜速度 1.5nm/s で変換効率 10%」を達成している。

第6章ではこれまで述べてきた Si 系アモルファス膜の成膜機構と対比させながら同様に RF プラズマ、ECR プラズマを用いて、ハードディスク用保護膜への実用化を狙った耐摩耗性に優れた極薄 a-C:H 膜の形成を検討している。5nm 以下の極薄 a-C:H 膜の構造評価はこれまで困難であったが、偏光解析法の応用として有効媒質近似でダイヤモンドとグラッシーカーボンの2つの誘電関数を用いた体積分率のフィッティング法を提案することで、成膜初期の数 nm 厚での膜中 sp^3 性の相対的評価を可能としている。その結果、成膜初期には sp^2 性が殆どを占め、膜厚の増大とともに急激に sp^3 性が増大することを示している。更に膜の sp^3 性を高めることを目的として、成膜時に基板にかかる負のバイアス電圧の効果をイオンの入射エネルギーの観点から考察している。それによると、他の種々の成膜法にも共通する事実として、C 原子1個当たりの入射イオンエネルギーが 100eV 付近の時に膜硬度は最大となる。このときのイオンの減速過程をトーマス・フェルミポテンシャルを仮定すると C 原子が成膜表面で衝突して膜中に侵入する深さは約 0.6nm となり、即ち数原子の C 層を突き抜けて局所的な内部応力を増大させるときに sp^3 性の高い緻密な膜となることを示している。同時に、膜応力、硬度の値自身はプラズマ中のイオンフラックス強度に依存することを示しており、本研究が今後の極薄高密度膜の実現に有益な指針となることを述べている。

第7章は総括であり、本研究を要約し、今後の展望について述べている。

本研究で得られた Si 系、C 系アモルファス膜の知見はアモルファス太陽電池やハードディスク装置の性能向上に大きく貢献し、また今後薄膜トランジスタや FED 等の様々なデバイスへの展開の中で各々の成膜法における成膜機構の理解にも資するものである。この点で基礎、応用いずれの見地からも高く評価でき、かつこれらの分野における今後の発展に寄与するものと認められる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。