

主 論 文 要 旨

報告番号	乙 第 号	氏 名	佐竹 宏次
主論文題目： Numerical modeling of plasma enhanced chemical vapor deposition of microcrystalline silicon thin films (微結晶シリコン薄膜のプラズマ化学蒸着の数値モデリング)			
(内容の要旨) <p>プラズマを用いた化学蒸着(プラズマ CVD)は、大面積及び低温での製膜が可能なることから、微結晶シリコン薄膜の太陽電池や薄膜トランジスタへの適用において不可欠な製造プロセスとなっている。所望の製膜速度や膜特性を得るためには、プロセス条件と製膜現象との関係を理解して、プロセスをデザインすることが重要である。本研究では、プラズマ及びそのプラズマから生成された化学種に依存した薄膜成長を含む微結晶シリコン製膜のモデリングを行う。このモデリングの目的は、産業応用の薄膜製造のためのプラズマ CVD におけるプロセスパラメータの最適化やリアクターのデザインを支援することである。</p> <p>第一章では、微結晶シリコン製膜メカニズムの複雑さや多様な時空間スケールを包含していることに起因した、プラズマ CVD モデリングの困難さ、超高周波 (VHF) 励起のプラズマを用いる場合の製膜均一性の問題を指摘し、本論文の背景と目的について述べる。</p> <p>第二章では、高周波放電プラズマとそれと連成したプラズマ化学反応及び高周波プラズマシース中のイオンの動力学のモデリングにより、基板表面における中性化学種とイオンのフラックスを算出する。従来の 13.56MHz の周波数を用いたプラズマと 70MHz の VHF で励起されたプラズマの相違について議論し、VHF プラズマにおいては、気相中で反応速度の大きい化学種である水素原子のシリル (SiH_3) に対する表面フラックス比の増大、イオン入射エネルギーの低下が微結晶シリコン製膜に有効であることを見出している。</p> <p>第三章では、第二章で予測されたイオンの基板入射エネルギー分布を基に、結晶性の薄膜成長表面における表面未結合手の生成、表面吸着原子の拡散、及び結晶核成長に対するプラズマ中からのイオン衝撃の影響を分子動力学法を用いて調べる。超高周波・高ガス圧のプラズマ条件では、入射イオンの膜成長への作用が中性ラジカルに比して小さく、また、イオン衝撃による膜への物理的ダメージの抑制が、微結晶シリコン製膜に適していることをシミュレーションにより実証している。</p> <p>第四章では、高周波放電プラズマ、プラズマ気相反応及び製膜反応を一つの枠組みに統合したプラズマ CVD を用いた微結晶シリコン製膜のモデリングを提案する。また、太陽電池向けの微結晶シリコンの製膜速度、結晶性、配向性に関わる評価関数を定義している。このモデルを用いて、微結晶シリコンの製膜速度及び膜特性に対するプロセスパラメータの相関を明らかとし、プロセス条件の計算機支援による最適化が可能なることを示す。</p> <p>第五章では、大面積製膜時における超高周波プラズマの分布不均一性を伝送線路モデリングを用いて議論する。実験と解析との比較・検討により、高周波電極上の電位分布の定在波がプラズマの非一様性に対し支配的であることを示すとともに、プラズマ特性と定在波との関係を理論的に明らかにする。また、モデリングの知見から定在波の時間的揺動により、$1.4\text{m} \times 1.1\text{m}$ の大面積基板に対し $\pm 20\%$ 以下の均一な製膜が可能なることを実験により実証している。</p> <p>本論文は、プラズマ CVD における微結晶シリコン製膜及び大面積容量結合型プラズマのプラズマ分布を予測可能なモデリングを提案しており、次世代の大面積・高品質な微結晶シリコン製膜へのプラズマ CVD の産業応用に貢献するものである。</p>			
			以上