

論文内容の要旨

博士論文題目

低温プロセスにおけるナノサイズシリコン成長メカニズムの研究

氏 名 桐村 浩哉

シリコン(Si)薄膜は、構造を非晶質系から結晶系に構造変化させることで、電気的特性(電子移動度、電気抵抗等)を制御することが可能である。一般に Si 薄膜の結晶成長には高温(700~800°C以上)が必要である。工業的な応用に適用する為には、ガラス基板の様な安価な基板に Si 薄膜を成長させることが望まれる。その為にはプロセス温度を 550°C(無アルカリガラスの歪み温度)以下に下げることが必要条件となる。本研究では、低温下での高品質(欠陥密度が低い)Si 薄膜の結晶成長の実現を目的に、結晶成長の界面構造、結晶成長核に着目し、Si 成長初期段階のナノサイズでの成長メカニズムを解明し、高品質 Si 薄膜作製を目指した。

非晶質水素化 Si 薄膜を研究対象にした。パルス変調プラズマを応用し、シランプラズマ消滅時間を $10^4 \sim 10^6$ sec の範囲で ON/OFF 制御することにより、 SiH_2 ラジカルを抑制すると同時に、成長活性種である SiH_3 ラジカルの発生を高密度に維持できることを実現した。欠陥の要因となる気相中で発生するパーティクルの原因は SiH_2 ラジカルであること、欠陥密度の低い Si-Si ネットワーク構造の成長に必要な反応種は SiH_3 ラジカルであることを明らかにした。高周波に 50kHz 以上の変調を加える新たな試みにより、短寿命(μs オーダー)のラジカルと長寿命(s オーダー)のラジカルの選択発生が初めて可能となり、各ラジカルの成長過程における働きが明確となった。

本研究で開発した Side-wall 型プラズマ援用化学的気相堆積法を用いて、長距離秩序性をもつ Si 結晶成長メカニズムの解明を目的に、水素ラジカルによる表面被覆効果と核形成に着目して研究を行った。水素ラジカルにはアモルファス相のエッチング効果、化学反応による Si 結晶成長促進効果があり、Si 核形成、結晶成長に重要な成長ファクターであることを明らかにした。

ナノサイズ(7nm)のニッケル(Ni)コアを利用した低温固相成長法を用い、大粒径多結晶 Si 薄膜(結晶粒径 $10 \mu\text{m}$)の低温形成を実現した。自然核発生を抑制し、制御された低密度($5 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 以下)の成長核から横方向に結晶成長させることが大粒径結晶の重要な成長ファクターであることを明らかにした。核としてバイオナノプロセス技術により形成した超分子に内包された Ni 原子を活用することに成功した。今後、ナノレベルのボトムアップからのデバイス構築の分野への新たな技術展開や、ナノレベルでの半導体薄膜成長過程の解明に役立てられると期待される。

(論文審査結果の要旨)

シリコン(Si)薄膜は、構造を非晶質系から結晶系に構造変化させることで、電気的特性(電子移動度、電気抵抗等)を制御することが可能である。一般に Si 薄膜の結晶成長には高温(700～800℃以上)が必要であるが、工業的な応用には、ガラス基板の様な安価な基板に Si 薄膜を成長させることが望まれる。本論文では、プロセス温度が 550℃(無アルカリガラスの歪み温度)以下での高品質(欠陥密度が低い)Si 薄膜の結晶成長の実現を目的として研究を行った。結晶成長の界面構造、結晶成長核に着目し、Si 成長初期段階のナノサイズでの成長メカニズムの解明を目指した。

非晶質水素(H)化 Si 薄膜の堆積において、パルス変調プラズマを応用した。シランプラズマ消滅時間を $10^4 \sim 10^6$ sec の範囲で ON/OFF 制御することにより、 SiH_2 ラジカルを抑制すると同時に、成長活性種である SiH_3 ラジカルの発生を高密度に維持できることを実現した。欠陥の要因となる気相中で発生するパーティクルの原因は SiH_2 ラジカルであること、欠陥密度の低い Si-Si ネットワーク構造の成長に必要な反応種は SiH_3 ラジカルであることを明らかにした。高周波に 50kHz 以上の変調を加える新たな試みにより、短寿命(μs オーダー)のラジカルと長寿命(s オーダー)のラジカルの選択発生が初めて可能となり、各ラジカルの成長過程における働きが明確となった。

続いて、本研究で開発した Side-wall 型プラズマ援用化学的気相堆積法を用いて、長距離秩序性をもつ Si 結晶成長メカニズムの解明を目的に、水素ラジカルによる表面被覆効果と核形成に着目して研究を行った。水素ラジカルにはアモルファス相のエッチング効果、化学反応による Si 結晶成長促進効果があり、Si 核形成、結晶成長に重要な成長ファクターであることを明らかにした。

ナノサイズ(7nm)のニッケル(Ni)コアを利用した低温固相成長法を用い、大粒径多結晶 Si 薄膜(結晶粒径 $10 \mu\text{m}$)の低温形成を実現した。自然核発生を抑制し、制御された低密度($5 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 以下)の成長核から横方向に結晶成長させることが大粒径結晶の重要な成長ファクターであることを明らかにした。核としてバイオナノプロセス技術により形成した超分子に内包された Ni 原子を活用することに成功した。

以上のように、本論文は低温下における高品位 Si 薄膜の作製を目的として、ナノレベルにおける Si-Si 原子結合形成に関して解明を行ったものである。さらに、バイオナノプロセスと半導体ナノプロセスとを融合した新しい技術展開はボトムアップ極微構造作製プロセスとして注目される。得られた知見と成果は、学術上新規性があり、大変有意義である。よって、審査委員一同は、本論文が博士(理学)の学位論文として価値あるものと認め、審査結果を合格とした。