

Title	薄膜多結晶シリコン膜の結晶粒界電子輸送特性に関する研究
Author(s)	古田, 善一
Citation	大阪大学, 2003, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/44280
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	ふるたよしかず 古田善一
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 17879 号
学位授与年月日	平成 15 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電子情報エネルギー工学専攻
学位論文名	薄膜多結晶シリコン膜の結晶粒界電子輸送特性に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 谷口 研二 (副査) 教授 谷野 哲三 教授 北山 研一 教授 岸野 文郎 教授 尾浦憲治郎 助教授 乾口 雅弘 助教授 原 晋介 助教授 北村 喜文 助教授 森 伸也

論文内容の要旨

本論文は薄膜多結晶シリコン膜の結晶粒界電子輸送特性に関する研究成果をまとめたもので、全体は 5 章から構成されている。

第 1 章では、多結晶シリコン膜の発展と応用分野について概説した後、多結晶シリコン膜の形成方法について述べた。また、多結晶シリコン膜の電気的特性について簡潔に説明する。最後に本研究の着眼点と目的、本論文の構成についての概略を述べた。

第 2 章では、固相成長法によって形成した膜厚 50 nm の高濃度リンドーピング薄膜多結晶シリコンを用いて、結晶粒界の局所的構造と電子輸送の相関を詳細に調べた。薄膜多結晶シリコン上に結晶粒径と同程度の大きさのポイントコンタクト素子を作製することにより、その電気的特性とデバイス寸法依存性を調べ、素子のチャネル部分の結晶粒界の有無に対応して線形電流・電圧特性、非線形電流・電圧特性が観測されることを見出した。また、その電気特性の温度依存性から結晶粒界における電位障壁を抽出し、非線形電流・電圧特性が観測された素子の電位障壁高さは、チャネル幅が広がるほど小さく、チャネル長が長くなるほど大きくなる傾向が見られた。この結果から、多結晶シリコン中の電子は、より低い電位障壁を優先的に輸送することにより結晶粒間を伝導するパーコレーション伝導をしていることを明らかにした。

第 3 章では、熱電子放出モデルを多結晶シリコンの結晶粒界電気特性へ適用することの妥当性を 2 次元デバイスシミュレーターを用いて検証した。また、結晶粒界を介した電気特性の非線形電流・電圧特性に非対称性が現れるメカニズムとパーコレーション伝導を引き起こすメカニズムをシミュレーションにより検証した。その結果、熱電子放出モデルを多結晶シリコンの結晶粒界電気特性へ適用することは第一次近似的には妥当である事を示した。また、隣り合った結晶粒のフェルミレベルの差異とバイアス方向による結晶粒界印加電圧の差異によって、結晶粒界を介した電流・電圧特性に非対称性が現れることを示した。さらに、T 状に結晶粒界を配列したデバイス構造をシミュレーションする事により、結晶粒界の配列によって変化し、パーコレーション伝導を引き起こすことを示した。

第 4 章では、薄膜多結晶シリコンの応用の一つとして単電子トランジスタを取り上げ、結晶粒界トンネル障壁の構造的、電気的特性に対する酸化処理の影響を調査した。また、トランジスタの高性能化に向けての指針を見出すため

に、多結晶シリコン単電子トランジスタの結晶粒界トンネル障壁とクーロンブロッケード特性の関係を探索した。実験の結果、酸化処理前に観測できなかったクーロンブロッケード現象が酸化処理により観測できたことを示した。このクーロンブロッケード現象の解析から、ポイントコンタクト単電子トランジスタのトンネル障壁/電子島は2つのモード、PADOX (Pattern-dependent oxidation) モードと結晶粒界選択酸化モードで形成されていることを明らかにした。また、選択酸化された結晶粒界のトンネル障壁高さは、酸化後でも 90 meV 以下と低いものの、厚みが 3 nm 程度の厚いトンネル障壁が形成されたこと、高温酸化後の結晶粒界トンネル障壁は Silicon sub-oxide であることを示した。最後に、これらの結果からポイントコンタクト素子のトンネル接合の特性とクーロンブロッケード特性の関係を導き、(1)結晶粒は 5 nm 以下 (2)結晶粒界トンネル抵抗 1 MΩ 以上の条件であれば、単電子素子の性能が飛躍的に向上する事を示した。

第5章では、本論文で取り上げる各研究での成果についてまとめた。

論文審査の結果の要旨

多結晶シリコン薄膜はこれまで MOS 型集積回路の主要材料として利用されてきたが、そのシリコン粒/粒界の微視的な電気的特性についてはこれまで詳しく研究されておらず、将来のナノメートル寸法の多結晶シリコン薄膜素子ではそのミクロな電気的特性が顕在化してくることが予測されている。本研究では、作製したナノメートル寸法の多結晶シリコン素子の電気的特性を統計的に処理することにより、粒界を流れる電子輸送と粒界構造との相関を初めて明らかにしている。ここで得られた知見は、多結晶シリコン単電子トランジスタの高性能化に向けた新しい指針を提供している。その主要な成果は以下のとおりである。

(1)電子ビーム露光装置を用いて極微小の多結晶シリコン薄膜素子を作製し、極低温における素子特性の評価を通して、非線型電流・電圧特性が観測された素子の電位障壁高さが素子寸法依存性を有していることを発見している。この結果から多結晶シリコン中の電子は、低い電位障壁を有する結晶粒間をパーコレーション的に伝導していることを初めて明らかにしている。

(2)結晶粒界トラップモデルを組み込んだ 2次元デバイスシミュレータを用いて多結晶シリコン膜の粒界を通過する電子の輸送特性を詳しく計算している。シミュレーションの結果、多結晶シリコン粒界の電子輸送特性は電子放出モデルで記述可能であることを示している。また、隣接する結晶粒のフェルミレベルの差および結晶粒界の配列がパーコレーション伝導を引き起こし、それが結晶粒界を介した電気的特性の非線形や非対称性の原因であることを示している。

(3)結晶粒界を選択的に酸化処理した単電子トランジスタの動作特性を詳しく解析し、結晶粒界トンネル障壁の構造と電気的特性との関係を調べている。その結果、単電子トランジスタのトンネル障壁と電子島は2つの酸化モード (PADOX モード、結晶粒界選択酸化モード) によって形成されていることを明らかにしている。また、選択酸化後、結晶粒界は 3 nm 程度のシリコン・サブオキไซด์で構成されておりそのトンネル障壁は 90 meV 以下であることを指摘している。これらの結果からポイントコンタクト素子のトンネル接合の特性とクーロンブロッケード特性の関係式を導き、単電子素子の性能向上に対する設計指針を示している。

以上のように、本論文はこれまで未知であった薄膜多結晶シリコン中における単一のシリコン粒界特性を初めて明らかにしている。さらに、粒界の物質的・電気的特性と電子輸送の特性との相関を数多く解明しており、シリコンナノ材料の科学技術進展への貢献は大きい。これに加え、本研究では、多結晶シリコン膜の移動度などの特性向上に対する微視的な知見を提供しており、多結晶薄膜トランジスタの新たな設計指針にも貢献する成果である。

よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。