

氏名	今城 利文
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第 10211 号
学位授与年月日	令和 4 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	数理物質科学研究科
学位論文題目	

多結晶Ge薄膜のキャリア移動度向上に関する研究

主査	筑波大学准教授	博士(工学) 都甲 薫
副査	筑波大学教授	博士(工学) 末益 崇
副査	筑波大学教授	博士(理学) 関口 隆史
副査	筑波大学教授	博士(工学) 深田 直樹
副査	(連係大学院)	

論 文 の 要 旨

審査対象論文は、固相成長法により合成した絶縁体上の多結晶Ge薄膜に対し、キャリア移動度向上を多角的に検討した研究について記述したものである。

第1章では序論として、半導体産業におけるGeの位置付けを俯瞰しつつ、次世代の薄膜デバイス材料としてGeが有望であることを示している。第2章では、研究の背景・目的として、Geの物性と近年の動向、絶縁体上Ge薄膜の低温合成技術の重要性を述べている。更に、当該技術における固相成長法の有用性と問題点を記している。第3章では、Geの固相成長における熱処理過程が物性に与える影響を包括的に議論している。その過程で新しい解析法を提案するとともに、多結晶Ge薄膜内部のアクセプタ起源を考察している。第4章では、固相成長Ge薄膜の更なる高キャリア移動度化のために下部層挿入を検討し、実際に結晶粒径・電気的特性を向上した。様々な絶縁下部層種の中でも、特にGeO_x下部層の効能を酸素拡散の観点から明らかにしている。第5章では、多結晶Ge薄膜における歪導入機構と物性への影響を紐解いている。第6章では、前章までの知見を重畳し、低耐熱(~500 °C)なフレキシブル基板上へ最高の正孔移動度(690 cm² V⁻¹ s⁻¹)を有するGe多結晶薄膜を実証している。

以上のように、本論文では、高いキャリア移動度を有する多結晶Ge薄膜の低温・直接合成技術を確立するとともに、更なる高品質化への物理探索を行っている。高機能性と汎用性を両立した次世代デバイスを創出する技術の端緒を開く成果である。

審 査 の 要 旨

[批評]

Geは高いキャリア移動度を有し、結晶化温度が十分に低いことから、低耐熱で廉価な絶縁体上における革新デバイスへの応用が期待されている。しかし、これまで絶縁体上に低温合成された多結晶Ge膜の電気的特性は劣悪であった。近年は固相成長法の高度化により、従来よりも大粒径かつ高い正孔移動度が得られているが、Geの優れたキャリア輸送特性を引き出せてはいない。本研究は、本問題の打破を目的としたものである。

まず、絶縁体上Ge薄膜の合成法として、先述の固相成長法に注目した。電気的特性の向上に先立ち、物理的起源を考察した。その過程で、機械学習に基づいた新規解析法を提案し、多結晶Ge薄膜内部の欠陥誘起アクセプタの原因を見出した。さらに、下部層挿入による界面改質を着想し、 GeO_x 下部層が結晶化プロセスへ作用する機構を酸素拡散の観点から考察した。そして、熱処理温度や GeO_x 下部層膜厚の制御により、多結晶Ge薄膜の大幅な大粒径化($\sim 10 \mu\text{m}$)・高移動度化($> 600 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$)を低温プロセス($\sim 500 \text{ }^\circ\text{C}$)で達成した。くわえて、これまで体系的な理解が及んでいなかった多結晶Ge薄膜への歪印加メカニズムを明らかにすると共に、面内圧縮歪が粒界におけるキャリア輸送障壁を緩和する事実を発見した。これらの技術を総合し、これまで困難であったフレキシブル基板上に絶縁体上Ge薄膜として最高の正孔移動度($690 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$)を実証した。

以上、本論文では結晶成長から特性評価、物理モデルの探索まで広範に行っている。独創的観点から多結晶Ge薄膜の動的な物性研究を行った共に、キャリア移動度の向上を実際に達成した事実は、極めて高い評価に値する。

[最終試験結果]

令和4年2月7日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

[結論]

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。