

Title	Germanium-Tin-Based Optoelectronic Integration Utilizing Nucleation-Controlled Liquid-Phase Crystallization
Author(s)	岡, 博史
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/69528">https://doi.org/10.18910/69528</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

## 論文内容の要旨

氏名 ( 岡 博 史 )

論文題名

Germanium-Tin-Based Optoelectronic Integration Utilizing Nucleation-Controlled Liquid-Phase Crystallization  
(ゲルマニウムスズ混晶半導体の核形成制御液相結晶化と光電子融合デバイス応用)

## 論文内容の要旨

これまで電子情報デバイスの中核である大規模集積回路 (LSI) の性能向上はその構成要素であるシリコン (Si) トランジスタの微細化により達成してきた。しかし近年、トランジスタの微細化によるLSIの性能向上は物理的限界を迎えつつあり、新材料や新技術の導入が不可欠となっている。IV族混晶半導体であるゲルマニウムスズ (GeSn) はGeへのSnの添加により電子・正孔ともに移動度がSiを大幅に上回ることが理論予測されており、次世代の高移動度チャネル材料として有望視されている。さらにSnの添加によりバンドギャップが縮小し間接遷移型から直接遷移型のバンド構造に変調することから、近赤外帯域に感度を有する高効率発光・受光素子への応用も期待されている。GeSnはSiと同じIV族半導体であることからこれらの高性能光・電子デバイスを従来のCMOSプロセスを用いて集積化することが可能であり、Si-LSIの性能限界を打破する光電子融合デバイス実現に期待が寄せられている。しかし、これまで高品質な単結晶GeSn形成技術は確立されておらず、光電子集積回路に向けた大きな課題となっていた。

本論文では独自に開発した液相成長による結晶化技術を用いて高品質単結晶GeSn層を形成し、高移動度GeSnトランジスタおよび高性能GeSnフォトディテクターの作製と集積化により光電子融合デバイスに向けた要素技術を確立した。本論文の構成としては、第一章で研究背景および従来のGeSn結晶化技術の課題を示した後、第二章では液相成長による高品質単結晶GeSn形成技術について述べた。アモルファスGeSn細線の局所急速加熱により液相成長過程での核形成を制御し、石英基板上に無転位の引張歪み単結晶GeSn細線を形成することに成功した。さらにノンドープおよびSbドープGeSn細線の液相結晶化により単結晶のp型およびn型GeSn細線を作製可能であることを示し、GeSnベース光電子集積回路に向けた結晶成長技術を確立した。第三章では本液相成長技術により形成した石英基板上単結晶GeSn細線で薄膜トランジスタを作製し、その電気特性を評価した。pおよびnチャネルGeSnトランジスタのいずれも良好なスイッチング特性を確認し、さらに電界効果移動度を評価したところ電子・正孔ともに従来のSiおよびGe薄膜トランジスタを上回る移動度が得られ、GeSnの高移動度材料としての優位性を示した。以上より本技術を用いることで透明基板上に高移動度GeSn CMOS (Complementary MOS) ロジック回路が作製可能であることを示した。第四章ではモノリシック集積可能な高性能GeSnフォトディテクターの作製を試みた。近赤外イメージング/センシング応用にはフォトダイオードを二次元配列したセンサーアレイが必要であるため、単結晶GeSnアレイ形成技術が求められる。そこで本研究では液相成長技術を応用したレーザーアニールによる熔融結晶化を提案し、石英基板上での大面積単結晶GeSnアレイ形成に成功した。石英は赤外線に対して透明であるため本技術は裏面照射型の近赤外センサーアレイへの応用が可能であり、石英基板上GeSn細線でフォトダイオードを作製し受光特性を評価したところ裏面照射によって波長2  $\mu\text{m}$ の近赤外光検出に成功した。第五章では本論文の総括を記した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 岡 博 史 )			
論文審査担当者	(職)	氏	名
	主 査	教授	渡部 平司
	副 査	教授	高井 義造
	副 査	教授	兼松 泰男
	副 査	教授	中山 健一
	副 査	教授	大政 建史
	副 査	教授	菊地 和也
	副 査	教授	伊東 忍

論文審査の結果の要旨

本博士論文は、高度情報化社会を支えるポストスケール技術として期待される光電子集積回路の実現に向け、IV 族混晶材料であるゲルマニウムスズ (GeSn) に着目し、独自に開発した熔融結晶化技術を用いて光電子デバイス開発および集積化技術について研究したものである。GeSn はシリコン (Si) をはるかに上回る高いキャリア移動度と III-V 族化合物に匹敵する優れた光学特性が理論予測されており、次世代の光電子材料として近年高い注目を集めている。しかしながら、高品質な単結晶 GeSn 形成は技術的に困難であったため、その優れた光・電子物性はこれまで十分に実証されていなかった。

本博士論文は全 5 章から構成されている。第 1 章では研究背景として大規模集積回路の発展とその性能限界について述べた後、GeSn の光・電子物性を理論計算結果を基に紹介し、結晶成長技術の現状と課題について詳細に記述している。第 2 章では光電子集積プラットフォーム構築に向けた GeSn 結晶成長技術の開発に取り組み、核形成の制御に基づく熔融結晶化手法を提案している。本手法を用いて透明基板上に無転位の単結晶 GeSn 細線を形成することに成功しており、電気特性評価からその優れた結晶性を明らかにしている。さらに一般的に用いられているエピタキシャル成長とは異なり GeSn 層に高い引張歪みが印加されるため、バンド構造変調による光・電子特性のさらなる向上も予測している。第 3 章では石英基板上に形成した単結晶 GeSn 細線で薄膜トランジスタを作製し、その電子物性を評価している。透明基板上での GeSn p および n チャネルトランジスタ開発に成功しており、また詳細な電気特性評価から Sn 添加および引張歪み印加による移動度向上を実証している。第 4 章では高性能 GeSn フォトディテクターの開発と集積化により、光電子融合デバイスとして CMOS 回路と一体形成可能な近赤外イメージセンサーの開発に取り組んでいる。レーザーアニールを用いた熔融結晶化技術の考案により、近赤外帯域に高い感度を有する GeSn センサーアレイを石英基板上に作製することに成功している。

本博士論文では GeSn の優れた光電子物性を操る新技術を開発し、光電子融合デバイス実現に向けた要素技術を確立している。固相/液相界面での核形成制御による GeSn 熔融結晶化技術は産業応用上大きな意義をもつだけでなく、学術的にも興味深く今後のナノ界面科学の発展に大きく寄与するものと考えられる。以上より、本博士論文は学位授与に十分値するものであるといえる。