
ゲルマニウムを基幹材料とする
ナノエレクトロニクス先端融合研究基盤の形成

平成 27 年度～平成 31 年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業

研 究 成 果 報 告 書

令和 2 年 5 月

学校法人名 五島育英会

大学名 東京都市大学

研究組織名 総合研究所

ナノエレクトロニクス研究センター

研究代表者 澤野 憲太郎

(東京都市大学 理工学部 電気電子通信工学科)

目 次

- 1 学校法人名
- 2 大学名
- 3 研究組織名
- 4 プロジェクト所在地
- 5 研究プロジェクト名
- 6 研究観点
- 7 研究代表者
- 8 プロジェクト参加研究者数
- 9 該当審査区分
- 10 研究プロジェクトに参加する主な研究者
- 11 研究成果の概要
 - (1) 研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要
 - (2) 研究組織
 - (3) 研究施設・設備等
 - (4) 研究成果の概要
 - <成果概要>
 - <優れた成果が上がった点>
 - <課題となった点>
 - <自己評価の実施結果と対応状況>
 - <外部(第三者)評価の実施結果と対応状況>
 - <研究期間終了後の展望>
 - <研究成果の副次的効果>
- 12 研究成果の詳細
- 13 研究発表の状況
 - <雑誌論文・図書・学会発表>
 - <研究成果の公開>
- 14 その他の研究成果等

《添付資料》

- 資料1 シンポジウム、総研セミナープログラム
- 資料2 新聞掲載記事等
- 資料3 東京都市大学総合研究所紀要
- 資料4 外部評価委員会評価シート

1 学校法人名 五島育英会 2 大学名 東京都市大学

3 研究組織名 ナノエレクトロニクス研究センター

4 プロジェクト所在地 東京都世田谷区等々力8-15-1

5 研究プロジェクト名 ゲルマニウムを基幹材料とする
ナノエレクトロニクス先端融合研究基盤の形成

6 研究観点 研究拠点を形成する研究

7 研究代表者

研究代表者名	所属部局名	職名
澤野憲太郎	工学部電気電子通信工学科	教授

8 プロジェクト参加研究者数 26 名

9 該当審査区分 理工・情報 生物・医歯 人文・社会

10 研究プロジェクトに参加する主な研究者

研究者名	所属・職名	プロジェクトでの研究課題	プロジェクトでの役割
澤野憲太郎	工学部 教授	MBE 結晶成長によるナノデバイス用歪み基板形成とデバイス作製(研究代表者)	高性能電子デバイス用基板開発、新構造ナノ量子電子デバイスの開発
丸泉 琢也	総合研究所 教授	ゲルマニウムレーザ開発に向けた構造設計・解析と発光機構の解析	ゲルマニウムレーザの開発加速、超短パルス光発生機構の解明
野平 博司	工学部 教授	ナノ量子デバイスの表面・界面構造の光電子分光法による精密評価	ナノ量子デバイスの作製プロセス最適化、並びに高性能化
徐 学俊	工学部 講師	ゲルマニウムレーザ開発に向けた発光源材料の開発と高利得化、デバイス作製	実用化に耐えうる高出力ゲルマニウムレーザ開発の加速
三宅 弘晃	工学部 准教授	ゲルマニウム電子デバイスとNEMS融合デバイスの設計、評価方式の検討	ゲルマニウムNEMS デバイスの開発加速電子機械融合方式の新規提案
岩松 雅夫	共通教育部 教授	ゲルマニウム量子ドットを用いるナノ量子電子デバイスの特性シミュレーション	ナノ量子電子デバイス特性の高性能化とプロセス最適化指針の明確化
堀越 篤史	知識工学部	ゲルマニウムナノ量子デ	ナノ量子電子デバイス

	准教授	バイスのキャリア輸送シミュレーション手法の開発	特性の高性能化と電子機械融合デバイス最適設計
新藤 恵美	工学部 技師	先端的機器分析技術によるナノ量子電子デバイスの材料物性の評価・解析	ナノ量子電子デバイスの作製プロセス最適化とデバイス構造の最適化
傘 昊	知識工学部 准教授	ナノ量子電子デバイス、機械融合デバイスを用いる新機能集積回路の検討	新規アーキテクチャに基づく新機能集積回路と量子情報システムの提案
田中 康寛	工学部 教授	ゲルマニウム光学系デバイスとNEMS融合デバイスの設計、評価方式の検討	ゲルマニウムNEMSデバイスの開発加速光学機械融合方式の新規提案
黒岩 崇	工学部 准教授	近赤外超短光パルスを利用する生体分子計測方式の基礎検討	ゲルマニウムレーザを用いる二光子顕微鏡応用技術の開発加速
須藤 誠一	共通教育部 教授	近赤外超短光パルスを利用する材料物性全般の評価計測方式の基礎検討	ゲルマニウムレーザによる材料物性評価新技術開発の加速
浜村 尚樹	工学部 技師	先端的機器分析技術による光デバイスの材料特性の評価・解析	ゲルマニウム光学系デバイスの作製プロセスとデバイス構造の最適化
瀬戸 謙修	工学部 講師	ナノ量子光学デバイス、機械融合デバイスを用いる新機能集積回路の検討	新規アーキテクチャに基づく新機能集積回路と量子情報システムの提案
(共同研究機関等) 中川 清和	山梨大学大学院教授	シリコン系歪み結晶基板を用いたGeデバイス作製と特性評価	デバイス作製プロセスの最適化、新規デバイス構造開発加速
伊藤 公平	慶應義塾大学 教授	ゲート誘起型量子ドット構造による単正孔量子デバイスの設計と構造最適化	ナノ量子電子デバイスを用いる新機能量子デバイスの開発加速
町田 友樹	東京大学生産 技術研究所 教授	単正孔を用いたスピンドバイスの設計と構造最適化	ナノ量子電子デバイスを用いる新機能量子デバイスの開発加速
藤田 博之	東京大学生産 技術研究所 教授	ナノ量子電子デバイス、光学系デバイスとNEMS融合デバイスの融合方式検討	新機能、新構造NEMS融合デバイスの提案と開発の加速
星 裕介	名古屋大学 大学院 特任助教	ゲルマニウムナノ構造作製プロセスの開発と最適化技術の検討	ゲルマニウム光学系デバイスの作製プロセスとデバイス構造の最適化

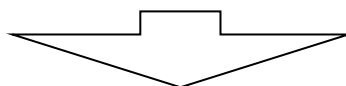
Dominique Bougeard	レーゲンスブルグ大学教授	ゲルマニウム量子ナノデバイスの評価と解析	ゲルマニウム単正孔デバイス実現に向けたデバイス構造指針の探索
夏 金松	華中科技大学教授	ゲルマニウム系フォトリクスシステムを利用する量子情報システムの基礎検討	光学系量子デバイスとNEMS融合デバイスによる量子情報システムの提案
Jifeng Liu	Thayer School of Engineering at Dartmouth・准教授	パルス励起によるGe材料の光学利得の精密計測評価と高利得材料開発	ゲルマニウムレーザ並びに超短パルス発生機構解析の支援
秋山 英文	東京大学物性研究所准教授	超短パルス発生機構に関する理論解析と応用計測技術の基礎検討	超短パルス発生の基礎物理の解明とライフサイエンス応用分野の開拓
宇佐美徳隆	名古屋大学大学院教授	ゲルマニウム・シリコンヘテロ構造結晶成長の最適プロセスの開発と評価	ゲルマニウムレーザデバイスの高性能化と開発加速
大橋 鉄也	北見工業大学教授	NEMS構造の力学特性解析と結晶塑性解析による転位密度評価	ナノ電子、光学系量子デバイスとNEMS融合デバイスの構造最適化

<研究者の変更状況（研究代表者を含む）>

旧

プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割

(変更の時期：平成 29 年 4 月 1 日)



新

変更前の所属・職名	変更（就任）後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
中国科学院半導体研究所・博士課程大学院生	東京都市大学総合研究所・博士研究員	周 培基	Ge系光電子融合素子に向けた光MEMSデバイス開発

1.1 研究の概要

(1) 研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

本研究プロジェクトでは、ゲルマニウム (Ge) を基幹材料とし、高速かつ超低消費電力化を可能とする①電子系量子デバイスと②光系量子デバイス、さらにこれらと③ NEMS との融合デバイスを開発する。各々の意義・目的について以下に述べる。

① 電子系量子デバイスとして、まずその基盤となる超高移動度材料の開発が重要であり、それにはナノデバイスにおける結晶歪み制御が不可欠である。そこで、これまでに申請者らが独自に開発してきた Si/Ge ヘテロ構造をベースとして、Ge-on-Insulator 構造等の新規構造の形成技術を開発する。また、ゲート誘起型 Ge 量子ドット単正孔デバイスの実現に向けた基礎技術、特に高品質ゲート絶縁膜形成技術の開発を進める。さらに、コヒーレンス寿命の長いスピンデバイスの基盤構造創製を目指し、Ge/Si(111)ヘテロ構造の形成とバンドエンジニアリング技術を開発する。

② 光系量子デバイスとして、シリコンチップ上へ集積可能な Ge 室温連続発振レーザを開発する。これは光電子集積チップの実用化に大きく貢献するだけでなく、Ge へ導入される結晶歪みとバンド構造、特に直接遷移化、発光特性などの関係を明確に示すことができ学術的意義が高い。特に間接遷移型である Ge をレーザ化するためには、量子構造によるキャリア閉じ込めやバンド変調のみならず、フォトニック結晶微小共振器構造による光伝搬制御技術を全て融合させることが必須であり、統合的な Si/Ge フォトニクス研究基盤の確立につながる。

③ 電子系、光系共に、上記 Ge 量子デバイスを基盤とした革新デバイスとして、ナノ・エレクトロ・メカニカル・システム (NEMS) との融合デバイスを開発する。NEMS 開発はこれまで、機械強度、ナノ加工に優れる Si 材料を中心に進んでいるが、特性向上に有効である歪みや量子構造導入は、Si 単体では不可能であった。そこで、我々の有する歪み Si/Ge ヘテロ構造により、歪みと量子構造を同時に導入し、共振特性の飛躍的向上を目指す。これは単電荷センサー、微小歪み・位置センサー、光機械結合素子等、幅広い分野へ応用可能であり、Si/Ge 系量子デバイスと NEMS の世界初の融合研究基盤の形成となる。

(2) 研究組織

本プロジェクトでは、電子系および光系量子デバイスの開発を研究テーマ1、2として推進する。工学部電気電子工学科、総合研究所副所長の澤野が代表（全体、研究テーマ1）となり、総合研究所の丸泉がテーマ2の代表となる。また、ナノ・エレクトロ・メカニカル・システム (NEMS) との融合による新機能量子デバイス開発にむけて、半導体材料応用研究に実績のある機械システム工学科の田中、三宅が参加する。さらに量子デバイスの集積回路化を探索すべく、その専門の傘、瀬戸が参加し、また Ge レーザのライフサイエンス応用を支援すべく、生命化学研究分野の黒岩が参加する。学外からは、量子コンピュータおよび MEMS 分野の第一人者であり、これまでに

一部共同研究を開始している、伊藤教授、町田教授、藤田教授（現在本学特任教授）等を研究協力者とし、それら新分野との融合研究において支援を得る。以上、電子、光系の量子デバイス、NEMS との融合デバイスの開発を、有機的な連携に基づいて、効率的に推進できる研究体制を構築している。

また、博士研究員として周培基氏が加わり、光デバイスの研究推進に大きく貢献している。大学院生は年度ごとに20名、学部生も20名程が、本事業の研究を修士論文、卒業論文テーマとしており、本事業の研究推進の中心的役割を担っている。事業開始からの3年度で、合計で修士約50名、卒論生約70名関わった。

(3) 研究施設・設備等

○研究施設
総合研究所ナノエレクトロニクス研究センター
使用面積：1,019m² [クリーンルーム 303 m²、準クリーンルーム 203 m²]
使用者数：研究者 7名、大学院生 20名（/年）、学部生 20名（/年）

○主な研究装置、設備の名称及びその利用時間

装置・設備の名称	利用時間（時間/年）	装置・設備の名称	利用時間（時間/年）
MBE結晶成長装置	1200	イオン注入装置	600
ALD装置	240	赤外顕微PL装置	600
X線回折装置	1200	電子線描画装置	1200
X線光電子分光装置	240	プラズマCVD装置	240
スパッタリング装置	240	Hall測定装置	600

本事業において、Geデバイスのパッシベーション膜、ゲート絶縁膜形成用の原子層堆積（ALD）装置(2015年度)を新規整備、長波長領域検出用フォトディテクター（2015年度）を赤外顕微PL装置に増設し、両装置とも2016年度より稼働開始している。

(4) 研究成果の概要

【テーマ1 : Ge電子系量子デバイス開発の研究成果】

① Geを基盤としたNEMS(MEMS)デバイスの作製、また各種新規量子デバイスの作製のために、そのプラットフォームとして、Ge-on-Insulator(GOI)基板の形成が非常に重要となる。GOI基板の作製プロセスとして、高品質歪みGe薄膜のSiウェハー上へのエピタキシャル成長と、ウェハーボンディング（貼り合わせ）手法を開発した。特に本事業では、新たにSiGeエッチングストップ層を導入することにより、これま

での GOI 基板の膜厚を大幅に薄膜化 (50nm 以下) することに成功した (* 1)。これは、完全空乏型 GOI 大口径ウェハーの実現につながる。特に、ストップ層の成長温度の低温化により、これまでの GOI 基板の膜厚を大幅に薄膜化しながら、転位発生を完全に抑制した GOI の作製に成功した。一方、成長温度低下に伴う正孔発生と移動度低下が起こることが分かり、今後の検討事項となった。

② Ge 量子デバイスの実現のためには、Ge チャネルデバイスの高移動度化の必須となる。従来の Si 基板面方位 (100) の性能を超えるために、異なる面方位、特に Si (110)、Si (1 1 1) 面基板を導入した。我々の独自技術であるイオン注入法を駆使することで、SiGe (110) 層を効果的に歪み緩和させることに成功し、今後の 高移動度 (110) 面チャネル形成を可能とする基板作製技術を示した (* 2)。また、Ge-on-Si (110), (111) 層の結晶成長を試みた。面方位に依存した成長最適条件があることを明確化し、各最適条件において 高品質 Ge 膜の形成を可能とした (* 3)。これは、今後の高移動度 Ge (110) 面チャネルデバイスや、Ge (111) のスピンドデバイスへの応用を可能とする。

③ Ge 量子デバイスの一つとして、エピタキシャル成長 Ge 層上への直接原子層堆積 (ALD) 法によって、高品質 Al_2O_3 絶縁膜/Ge 界面を形成することで、特性劣化の要因となる、界面での GeOx 層の形成を抑制できることを明らかにした (* 4)。さらに Ge エピ膜上では、ALD 膜形成開始までの待機時間がほぼゼロとなり、ダングリングボンドを有する表面上への ALD メカニズムが水素終端表面と大きく異なることを示した (* 4)。

④ 上記手法により、高品質 Al_2O_3 絶縁膜を形成した歪み Ge 表面チャネル構造において、埋め込みチャネル構造と 同等の高移動度を得ることができ (* 5)、高移動度表面チャネル GeMOS デバイス実現へ有望な結果となった。

⑤ Ge デバイスの応用を、システムインディスプレイやフレキシブル・エレクトロニクス分野へ展開するため、ガラス等の透明基板への貼り合わせ技術開発を進めた。大きな熱膨張差により、貼り合わせ強度の向上が課題であったが、今回ガラス上へアモルファス Ge を堆積した後に貼り合わせを行い、接合界面での良好な単結晶化を誘起させることで、結合強度の大幅向上が可能であることを示した (* 6)。これにより、今後ガラス基板やプラスチック基板等への Ge デバイス形成が期待される。

⑥ Ge (111) は、電子の移動度が高いことや、高品質強磁性体のエピタキシャル成長が可能であり、スピントロニクスに応用できることから注目を集めている。さらに Ge 上に歪み $Si_{1-x}Ge_x$ (111) チャネルを形成することで歪み効果による特性向上が期待さ

れる。本研究では、高品質な歪み $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 層の形成に向け、その歪み緩和初期過程を詳細に調べ、実験的に臨界膜厚 (t_c) を決定した。特に t_c の Ge 組成、基板面方位依存性を詳細に調べ、系統的データを得た。また、 t_c が Ge-on-Si (111) 及び Ge (111) 基板上で大きく異なることを初めて明らかにし、下地となる Ge 基板の品質が極めて重要であることを示した (* 7)。

【テーマ2 : Ge 光系量子デバイス開発の研究成果】

① Si 基板上に Ge 膜を 2 段階成長法によって成長することで、熱膨張差により引っ張り歪みを有する Ge 膜が形成され、これを GOI 化することに成功した。これによって、結晶欠陥が完全に除去され、さらに光閉じ込め効果を持つことによって、100 倍を超える発光強度増大を観測した。さらに Electroluminescence (EL) デバイス構造を形成し、Ge からの室温での EL 発光を得ることに成功した (* 8)。

② 引っ張り歪み GOI のより簡便な作製手法として、エピタキシャル・リフトオフ (ELO) 法を開発し、本プロジェクトで我々が開発済の貼り合わせ方と比較し、作製プロセス時間を大幅に短縮することに成功した。さらに、ELO プロセスのためのパターンニングによって、通常の GOI を超える発光強度増大が得られた (* 9)。

③ Si 上に形成した Ge 膜に、マイクロブリッジ構造を形成することによって、歪みをさらに増大させることに成功 (* 10) し、これによって発光強度の増大、発光エネルギーの系統的なレッドシフトを観測し、直接遷移による発光メカニズム、バンドスプリッティング機構を解明することができた。さらに、Ge マイクロブリッジ構造の発光特性を解析した結果、ブリッジ幅に対応する共振発光が観測されていることが分かった。この結果に基づき、ブリッジサイドにブラッグ反射鏡構造を形成することで、歪みに影響を与えずに共振効率を高める構造を設計、計算した (* 10)。

④ Ge 量子ドット積層構造に、n 型のデルタ・ドーピングを施すことにより、電子の閉じ込め効果を高め、発光強度の大幅増大に成功した (* 11)。さらに、ドーピングを行った Ge 量子ドット構造や GOI 構造に、マイクロディスク共振器を形成することで、非常に鋭い発光ピークが得られ (* 12)、今後のレーザー開発に Doped Ge ドットおよび GOI のマイクロディスクが有効であることを示した。

⑤ Ge からの発光効率をさらに向上させるために、アモルファス Si (a-Si) を用いた GOI の表面不活性化 (パッシベーション) を試みた。近年、Si 太陽電池では、その高い変換効率を得るために水素化アモルファス Si (a-Si:H) 膜の形成が必須技術となっており、今回はそれと完全に同様な、プラズマ CVD による膜形成を行った。特に

p 型の a-Si:H 層を堆積させた場合、もとの GOS と比較して約 15 倍の発光強度を得ることに成功した。一方、n 型 a-Si:H 膜を堆積させた場合では発光強度が減少し、伝導タイプの制御が重要であることを示している。バンド構造計算より、p 型 a-Si:H の場合、Ge 表面がバンドベンディングを起こして電子が表面からバルク内部に拡散する、いわゆる電界効果パッシベーションの効果によって、表面での非発光再結合が大きく抑制され、発光強度増大につながったものと結論付けられた。これらの結果より、アモルファス Si による表面パッシベーションが Ge 発光素子において重要であることが示された (* 1 3)。

⑥ 光デバイス応用としても GOS の n 型制御が極めて重要であり、GOS への In-situ ドーピング制御技術開発を進めた。高濃度ドーピングのために低温成長とポストアニール法により、結晶性の向上とドーピング濃度向上を同時に得ることができるようになり、それによって高い発光効率を得られた (* 1 4)。これまでの SOD によるドーピング手法に比べ、MBE であることからその制御性は格段に高く、ドーピング制御がキーとなる LED デバイス実現へ向けて有用な成果と言える。

⑦ Ge 光デバイスとスピントロニクスとの融合を検討し、特にスピン注入可能な強磁性体電極を用いた Ge スピン LED の開発を開始した。Ge 上へ CoFeAlSi 系ホイスラー合金をエピタキシャル成長させた構造 (阪大との共同) からの EL 発光観測に成功し、今後スピン偏極発光、つまり円偏光発光実現へ向けた大きな前進となった。

⑧ 新たな試みとして、ガラス上への Ge ナノ構造形成を試みた。ガラス基板を溶液処理するだけで、ガラス表面から階層的にサイズが変化するナノ多孔層を非常に容易に形成可能であることが報告されており、このナノ多孔層上に非晶質 Ge を堆積し、その結晶化や光学特性を調べた。ナノ多孔層の影響により、結晶化が促進されることが分かり、さらに室温での発光も観測され (* 1 5)、Ge ナノ微結晶がガラス上に形成されていることを示唆しており、今後ガラス上発光デバイス化への道が拓けた。

⑨ Ge の発光デバイスが本事業によりかなり実現化してきたので、次の研究に向けて、Ge のセンサーへの研究を開始した。Ge は赤外光の発光と受光ができ、さらに導波路として有効であることから、非常に小型の微量ガスセンサーへの応用が期待できる。まずは、SOI 基板上にサブ波長格子 (SWG) 構造を有する導波路、グレーティングカップラ及びマイクロディスク共振器を集積した中赤外光デバイスの作製及び評価を行った。ファイバ-導波路間の結合効率を測定し、最大で 10.07% の結合効率を得られた。また、デバイスの透過率スペクトルを測定し、カップリング長 90°、ギャップ 0.15 μm のデバイスで臨界カップリングが得られた。この共振器の Q 値を算出し、intrinsic Q ~ 3200 が得られた。また、この共振器に伝搬する光の光路長はおおよそ 1m という解析結果を得られた。これらの結果から、作製した中赤外光デバイスは微量ガスの検出に有用であると評価した (* 1 6)。

<優れた成果が上がった点>

① Ge 膜の Si 上への高品質結晶成長技術と、Ge 膜の酸化膜上への直接ウェハー貼り合わせ技術を組み合わせ、さらにエッチングストップ層挿入などの手法を最適化することによって、Ge-on-Insulator (GOI) 基板作製技術をより進展させ、その超薄膜化 (50nm 以下)、面内均一化、高移動度 (市販の G ウェハーと同等の Hall 移動度 2000 cm^2/Vs 以上)、高効率発光能力 (Ge ウェハーの 100 倍) を全て兼ね備えた GOI 基板

の創出に成功した (*17)。これにより、量産化が可能である、GOI 大口径ウェハの実現につながる。

② **Ge NEMS (MEMS)** デバイス実現へ向けて、マイクロ構造の作製を進め、我々の技術の特長である歪み **Ge** エピタキシャル成長と **GOI** 基板技術を有効に利用することで、1 軸性、および 2 軸性のマイクロブリッジの形成と、引っ張り歪みの大幅な増強に成功した。その結果、このマイクロブリッジ構造から非常に大きな室温発光が得られるとともに、ブリッジ内での共振現象による鋭い発光が観測された (*18)。さらに、ブリッジへ電流を注入することで発光波長が変調されることも示され、センサー等への応用へ向けた **MEMS** 融合光デバイス実現につながる可能性を示した。

③ 高品質な **Ge-on-Si** 膜の形成技術確立した後、さらにその上に歪み **SiGe** ヘテロ構造を形成することで、量子閉じ込めや歪み効果を利用した、新たな光・電子量子構造デバイスの実現につながる。しかしながら、本研究での詳細な調査によって、**Ge** 基板上と比較し、**Ge-on-Si** の上に歪み **SiGe** 膜を形成すると、膜へのクラックが発生しやすく、いわゆる歪みを維持した状態で成長可能な臨界膜厚が著しく減少してしまうことが明らかとなった。それを抑制するために、**Ge-on-Si** 層にパターニングを施しメサ構造とした上に **SiGe** を成長することで、クラックの発生を完全に抑制することに成功した。その結果、**Ge-on-Si** 上の臨界膜厚は大きく向上し、**Ge** 基板上の臨界膜厚を超えることが分かった (*19)。すなわち、パターニング **Ge-on-Si** 基板を利用することで、より大きな歪みを有し、歪み安定性が高く、高品質な **SiGe** 膜が形成可能となり、各種量子デバイスへの応用の道が大きく開けたと言える。

④ **Si** 上にエピタキシャル成長によって **Ge** を形成する **Ge-on-Si** 構造において、**Ge** 成長中に最適化されたドーピング技術によって、ボロンとリンを順番に高濃度ドーピングすることで、**Ge** 層中に **pin** 構造を形成した。**Ge** 表面は **n** 型のコンタクト形成が非常に難しいが、 δ ドーピング技術と **Si** 原子層挿入手法を用いることで、非常に抵抗の低いコンタクト形成に成功した。これらの結果、**pin** 構造の良好なオーミック特性が得られ、非常に大きな **EL** 発光を室温で得ることができた。注入電流密度に対して、閾値を持った発光特性が得られ、共振器構造を形成することでレージングする可能性を強く示唆している。

<課題となった点>

全体として、当初目標に対してよい成果を残すことができたため、大きな課題はない。今後の展開を見込んで挙げるとすれば、**GOI** の作製において、大面積化可能な手法を確立したものの、大学の研究室では実際に **300mm** ウェハを扱うことは不可能であり、チップ形状の実験にとどまっていた。つまり、実際に大面積 **GOI** を完成させるには、その設備を有する企業でないと不可能である。今後、企業連携の可能性を探り、連携できた後には、実際に大面積 **Ge** ウェハを実現し、量産化へ結びつけていきたいと考えている。

<自己評価の実施結果と対応状況>

本学総合研究所にて、定期的に「総研セミナー」を開催し、学外の有識者による講演を頂き、本事業の研究内容も含めて議論を行う場としている。セミナーでは適宜本事業のメンバーによる成果報告を含め、学外有識者に評価頂くと共に、学内の研究者と

の討論を深め、自己評価を活発に進めている。また、事業の研究に関わる学生は毎週ミーティングにて研究進捗報告を行い、事業メンバー教員と学生の間で討論を交わし、その都度研究計画を練っている。また、総合研究所が毎年発行する紀要に、ナノエレクトロニクス研究センターの研究活動を掲載し、学内の全学部・全学科に配布、情報公開すると共に、主要な研究機関に送付している（【資料3】）。

また、SCOPUS を利用した自己評価を進めている。特に発表論文の Impact Factor (IF) 値の分析を行った。代表者澤野の 2016 年度の SCOPUS 採録件数は 15 件、IF 合計は 32.091 となり、この数値は学内トップであった。これは本事業の成果として IF の高い論文誌への論文採択が非常に多いことを示している。

さらに、学内の研究推進部において、エルゼビア・ジャパン（株）に本学教員の研究業績の分析および他大学との比較分析等を依頼しており、その結果をもとに、本事業メンバーの研究業績について客観的視点で自己評価を行った。評価指標として、発表論文数と論文被引用数に注目した。2015 年から現在までの発表論文数では、学内全教員（260 名ほど）の順位を付けると、上位 3 名が本事業メンバーであり、代表者澤野は 2 位となっている。被引用数でも、代表者澤野は 2 位であった。論文引用数は発表後の継続的な研究活動により増加するので、その高さは事業の着実な成果が出ていることを顕著に示しており、学内でもトップレベルの研究組織となっていることが自己評価として結論できる。

また、センターメンバーの研究活動が学内で評価された事例として、下記学内での表彰を付記したい。まず、研究センターメンバーの徐が、平成 28 年度東京都市大学・若手研究者奨励賞を、研究代表の澤野が平成 29 年度東京都市大学・優秀研究者賞を授与された。また、メンバーの黒岩、田中も平成 30 年度、31 年度にそれぞれ若手研究者奨励賞、優秀研究者賞を授与された。優秀研究者賞は年間一人以下、奨励賞は 2-3 名の枠であることから、本研究センターメンバーが顕著な成果を挙げ、学内で高く評価されていることを示している。

<外部（第三者）評価の実施結果と対応状況>

外部評価に関しては、半導体材料・デバイス、先端計測、シミュレーションの各分野で優れた業績と見識を有する外部有識者からなる外部評価委員会（下表を参照）を設置し、2 回の外部評価委員会を開催し、ご指導を頂いた。

表 外部評価委員会委員の所属・氏名・専門分野

所属・職名	氏名	専門分野
名古屋大学大学院・教授	中塚 理 ^(*)	半導体薄膜、デバイス物理
産業技術総合研究所・副理事長	金山 敏彦	半導体計測、プロセス技術
東京大学大学院・教授	鳥海 明	半導体デバイス物理
日立製作所・研究開発 Gr. 技師長	佐々木 直哉	材料・デバイスシミュレーション

(*) 2018 年度より、名古屋大学大学院教授・副総長 財満鎮明先生から交代

第1回（2015年12月14日）：本プロジェクト発足時のキックオフ・シンポジウムに合わせて、開催し、研究内容と目標に関するご評価を頂き、双方ともプロジェクト研究として妥当なものであるとの評価を頂いた。

第2回（2018年5月11日）：外部評価委員会を開催した。研究進捗に関するご評価を頂いた。研究進捗状況、公表状況、組織、施設整備状況に関して5点満点で評価点を付けて頂き、その他コメントも頂いた。いずれの項目も概ね良好であるとのご評価を頂いた。（評価シートについては添付【資料4】参照）

評価項目	4名の平均ポイント
【1】研究進捗状況について	4.25/5.00
【2】研究成果の公表状況について	4.25/5.00
【3】研究組織について	4.25/5.00
【4】研究施設整備状況について	4.25/5.00

<研究期間終了後の展望>

テーマ1「Ge電子量子デバイス開発」については、非常に高品質なGeウェハをSi上に形成することに成功し、さらにその上に歪みSiGeヘテロ構造の形成が可能となったことから、今後、様々な量子デバイスへの応用が期待できる。特にスピントロニクス・デバイスへの応用が大いに期待できる。強磁性体を形成するためには、SiGe(111)面の利用が有効であり、本研究では世界に先駆けて(111)面の検討を開始し、歪みSiGe(111)の高品質化を世界で唯一実現している。これまで大阪大学・浜屋研究室との連携でスピデバイス进行研究してきたが、今後さらにこれを推進していく予定である。

また、MBEと真空接続されたALDによる高品質ゲート絶縁膜形成に成功したので、今後、良質なゲーティングによるゲート誘起Ge量子ドットデバイスへの展開が期待できる。これは、これまでSi系で量子コンピュータ応用へ向けてドットデバイス研究を進めているドイツ・レーゲンスブルグ大学のグループと共同で進めて行く予定である。

また、テーマ2「Ge光量子デバイス開発」について、Ge-on-Siから強い室温EL発光が得られ、特にこれは結晶成長による高精度なpin制御によるものであることから、結晶成長によってi層への歪みSiGe導入が可能である。i層へ歪みSiGe層を形成することで、量子閉じ込めによる発光向上、発光エネルギー制御、単色光化が容易となる。Geレーザーを実現し、光配線への適用、またGe赤外光センサーへの利用が期待できる。

<研究成果の副次的効果>

多大な補助を頂いたことで多くの成果を残すことができ、これはこの研究に関わった学生（上記の通り、100名以上）にとっても大きな経験となった。研究における苦労と、その後のいわゆる成功体験によって、研究そのものの本質を喜びと共に学ぶことができ、企業に就職してからも、高い創造性、独自性をもって企業に貢献していける力を身に付けたと言える。大学の役割として、研究活動によって社会に還元するだけでなく、社会を変革する力を持った学生を輩出するという社会貢献もできたのではないかと考えている。

1 4 研究成果の詳細

テーマ 1&2

「歪み Ge-on-Insulator 基板の作製と発光デバイス開発」

テーマ 1

「エピタキシャル Ge 上の直接 ALD による Al_2O_3 層の形成と評価」

「SiGe エッチングストップ層を用いた貼り合わせ薄膜 GeOI 基板の作製」

「MBE と ALD による Al_2O_3 /歪み Ge 表面チャネル構造の形成と電気特性評価」

「貼り合わせ法によるガラス基板上 Ge 膜形成」

「パターニングによる歪み SiGe 層中クラック発生の抑制」

「In-situ ドープによる Ge-on-Si(111)の n 型伝導制御」

テーマ 2

「円形ブラッグ・グレーティングを有する Ge マイクロディスクの共振 PL」

「ナノ多孔層ガラス基板を利用した Ge ナノドットの作製」

「ウェットエッチングによる歪み Ge マイクロブリッジの作製」

「Ge 量子ドットを有する円形 DBR 微小共振器構造の発光特性」

「アモルファス Si を用いた表面不活性化 GOI からの発光増大」

「Ge-on-Si メサ型 LED デバイスの作製と EL 発光観察」

テーマ 1 & 2 「歪み Ge-on-Insulator 基板の作製と発光デバイス開発」

1. はじめに

1.1. 歪みゲルマニウム発光源

シリコンプラットフォーム上のモノリシックな光電子集積回路の実現に向け、発光源として Ge が注目されている[1]. Ge は Si よりもバンドギャップが狭く、通信波長帯に発光波長を持つ。また、間接遷移型半導体であるものの、 Γ 点にバレーを持ち、L 点とのエネルギー差は比較的小さい。さらに Si 基板上に Ge をエピタキシャル成長させることで、Si と Ge の熱膨張率の違いから、Ge に引っ張り歪みが導入される。引っ張り歪みの導入により、 Γ - L バレー間のエネルギー差が減少し、直接遷移型に近づけることができる。さらに、高濃度 n 型ドーピングによって Γ 点での電子濃度を増大させることで、より直接遷移の寄与を大きくすることにより、発光効率が增大する。これまでに、この引っ張り歪み Ge 構造からレーザー発振が報告されている[2-4]。しかし、依然として、閾値電流を低下させることが実用化に向けて必要であり、そのための技術開発が今後の課題であると言える。

1.2. Ge 発光デバイスの高効率化へ向けて

高効率 Ge 発光構造のための我々の取り組みについて紹介する。Ge/Si ヘテロ界面近傍に存在する結晶欠陥による非発光再結合の抑制を試みた。Ge と Si は 4% の格子不整合を有するため、成長中の歪み緩和に伴う転位の発生は不可避である。また、後述するように、転位を閉じ込めるために Ge 低温成長層を挿入するため、そこでは多量の点欠陥も発生している。そこで我々は、Ge/Si 界面の欠陥層を除去するために、Ge-on-Insulator (GOI) 構造の形

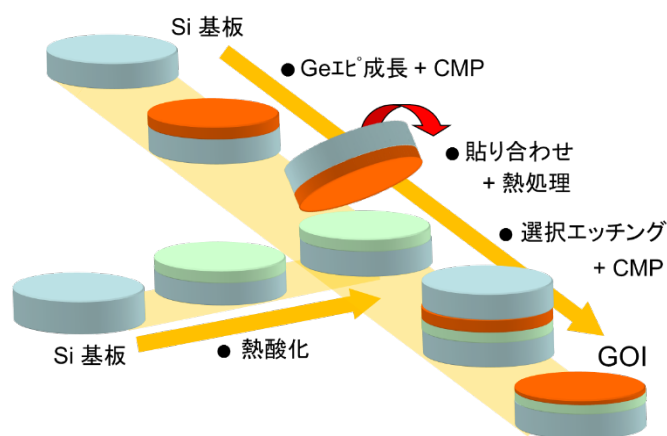


図 1 Ge エピタキシャル成長と貼り合わせによる歪み GOI 作製プロセス

成技術を開発してきた[5] (図 1). Si 上のエピタキシャル歪み Ge 膜を絶縁膜(SiO₂)上に直接貼り合わせ、基板の Si を選択エッチングにより除去することで GOI 構造となる. 転位を多く含む欠陥層は最上部となっているため、CMP によってそれらを完全に除去することが可能である. さらに GOI 構造のメリットとして、低屈折率の SiO₂ 膜が Si 基板との間に挿入されていることから、面直方向の光の閉じ込め効果も増加するため、発光効率向上に有効である. 他の GOI 作製手法と比較し本手法は、歪みの導入が可能、Si ウェハと同じ大面積化が可能、面内の膜厚均一性が高いなどの利点が挙げられる.

さらに歪み Ge からの発光効率向上のためには、より高い濃度の n 型不純物をドーピングする必要がある. これまでに、結晶成長中の in-situ ドーピング[6]や、成長後の Spin-on-Dopant の熱拡散[7]による高濃度ドーピングにより発光強度の増大を得ている. また、Ge の歪み量増大も発光増大に寄与し得るが、Ge の歪み量は Si との熱膨張率差で決まるため、歪み量増大のためには、マイクロブリッジ構造を形成するなど、弾性的歪み印可手法を利用する必要がある[8].

また、より発光効率を高めるための最適な光共振器構造の形成も重要となる. 我々はこれまで、マイクロディスク共振器構造について検討している[6,9,10]. 構造作製には、ドライエッチングによりメサ構造を形成するが、メサ側面や表面での非発光再結合が問題となる. そのため、端面の反射による Fabry-Perot (FP)共振ピークは、コントラスト・Q 値共に低下してしまう. これを解決するために、円形ブラッグ・グレーティング(Circular Bragg Gratings : CBGs)を利用することによる反射率増大を図っている[9]. さらに表面パッシベーションによる再結合抑制も効果的である[10]. 以下、いくつかの実験結果について紹介する.

2. 歪み GOI マイクロディスク形成手法

以下歪み GOI マイクロディスク共振器までの作製プロセスを説明する. まず Si 基板上 Ge 膜 (Ge-on-Si) の成長を、固体ソース分子線エピタキシー(MBE)を用い、2 段階成長法により行った. Si(100)基板上に成長温度 350°Cにて 40 nm の低温 Ge(LT-Ge)層を成長し、その後 600°Cにて 700 nm の高温 Ge(HT-Ge)層の成長を行った. 次に、成長した Ge-on-Si と、熱酸化により形成した SiO₂/Si 基板を、両者親水化処理を施した後に貼り合わせ、700 °C で 1 時間熱処理を行った. 次に、トップの Si 層を研磨と KOH による選択エッチングにより除去し、最後に CMP によって欠陥を含む LT-Ge 層を除去し GOI 構造を形成した. また、P のドーピングは、Spin-on-Dopants (SOD)による塗布とその後の熱拡散によって行った[7]. ラマン分光測定により、プロセス後の歪み量はプロセス前と同じ 0.22%の引っ張り歪みを有していることが確認された.

共振器構造として、円形 Ge メサ型構造 (マイクロディスク)と円形ブラッグ・グレーティング(CBGs)を、電子線描画と反応性イオンエッチングにより形成した. ディスク直径は 4-

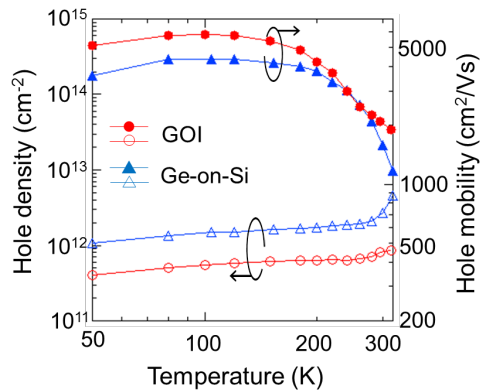


図 2 GOI と Ge-on-Si のホール移動度と正孔密度の温度特性

16 μm , CBGs のグレーティング周期は 280-400 nm とした. また, 光の検出効率を向上させるため, プラズマ CVD により厚さ 650 nm の SiO_2 膜を堆積した[9].

3. 結果と考察

3.1. Ge-on-Si と GOI の電気特性

Ge-on-Si とノンドープ GOI の結晶性の評価として, まず電気伝導特性について調べた. 図 2 はホール移動度とキャリア密度の温度特性を示す. Ge エピ膜中には, ノンドープであるが, 正孔が存在することが分かった. これはアクセプターライクの欠陥に由来するものと考えられる. しかしながら, 得られたキャリアシート濃度から換算すると, 10^{16}cm^{-3} 以下の濃度であることが分かり, 欠陥由来の正孔濃度としては他の手法に比べ非常に低く抑えられている. 特に Ge-on-Si に比較して GOI ではより濃度が低いことが示された. これは, 欠陥層除去による効果と言える. それを反映し, 室温の正孔ホール移動度は $2000\text{cm}^2/\text{Vs}$ に

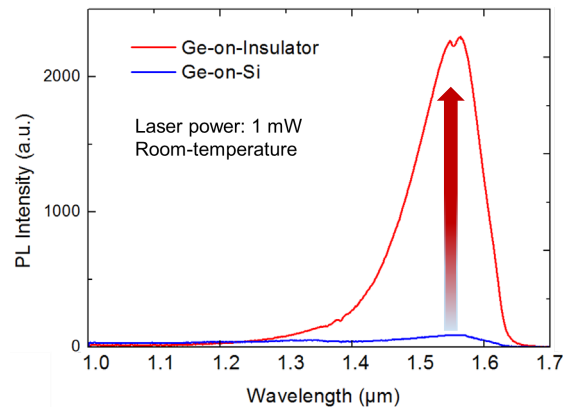


図 3 GOI と Ge-on-Si の室温 PL スペクトル.

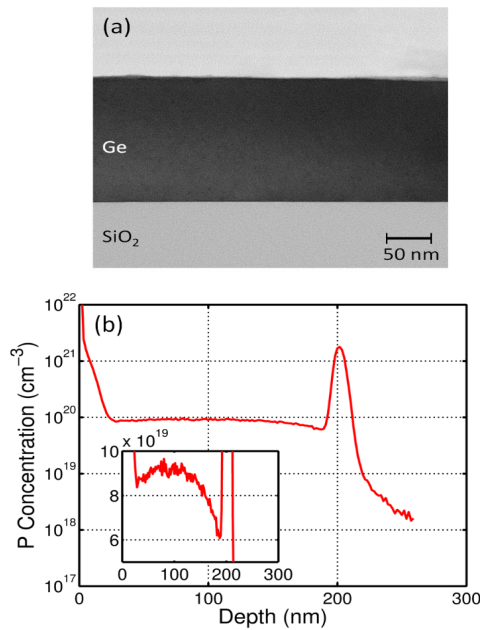


図4 PをドーピングしたGOIの(a)断面TEM像と(b)P濃度のSIMSプロファイル

達する高い値を示した。これはバルク Ge に一致し、作製された GOI が非常に高品質な結晶性を有していることを示している。

3.2. Ge-on-Si と GOI の発光特性

続いて、作製した Ge-on-Si と GOI の発光特性を室温にて Photoluminescence (PL)測定により調べた。励起波長 976 nm, InGaAs ディテクタを使用した。GOI 構造とすることで、Ge-on-Si と比較し約 20 倍の発光強度増大が得られている。これは、GOI 構造とすることで、欠陥を多く含む LT-Ge 層が除去されたため、非発光再結合が効果的に抑制されたためと考えられる。さらに、Ge/SiO₂ の高い屈折率差による光の閉じ込め効果も強度増大の要因と考えられる。

Γ 点への電子注入による直接遷移化のために、Spin-on-Dopant を用いて P 不純物の熱拡散ドーピング GOI に対して行った。図 4 に n 型ドーピング GOI の断面 TEM 像と P 不純物原子濃度の SIMS プロファイルを示す。TEM 像より、熱拡散ドーピング後においても、欠陥層や貫通転位が見られず、良好な結晶性を有していることが分かる。また GOI 膜厚全体で、約 $6-9 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のほぼ一様なドーピング濃度を持つことが分かった。なお、Ge/SiO₂ 界面に高濃度の P が存在していることが分かり、GOI 層を拡散した P の多くが界面でトラップされていることが明らかとなった。熱処理条件の最適化によって、より高濃度化が可能であ

ることを示唆する。

この試料の室温 PL 測定結果を図 5 に示す。n 型ドーピングにより、ノンドーピング GOI に比べ、さらに約 4 倍の発光強度増大が得られた。これは Γ 点への注入電子の増加に起因するものであると考えられる。また、ドーピングによる発光ピークの長波長側へのシフトも確

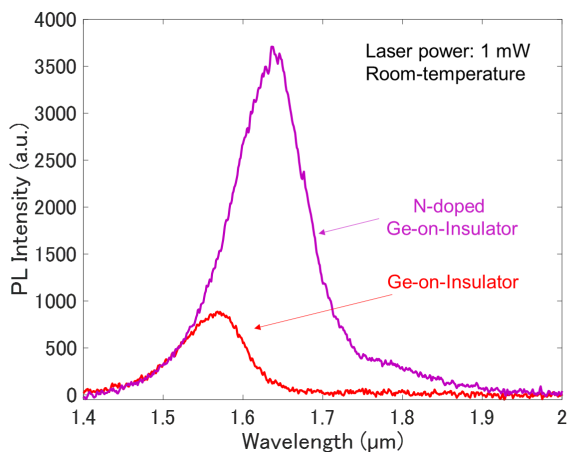


図 5 n 型ドーピングした GOI とノンドーピング GOI の室温 PL スペクトル。

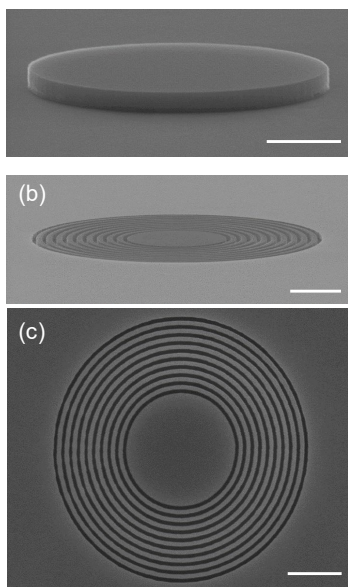


図 6 (a) 通常の GOI マイクロディスクと (b) (c) 円形ブラッグ・グレーティングを有するマイクロディスク構造の SEM 像

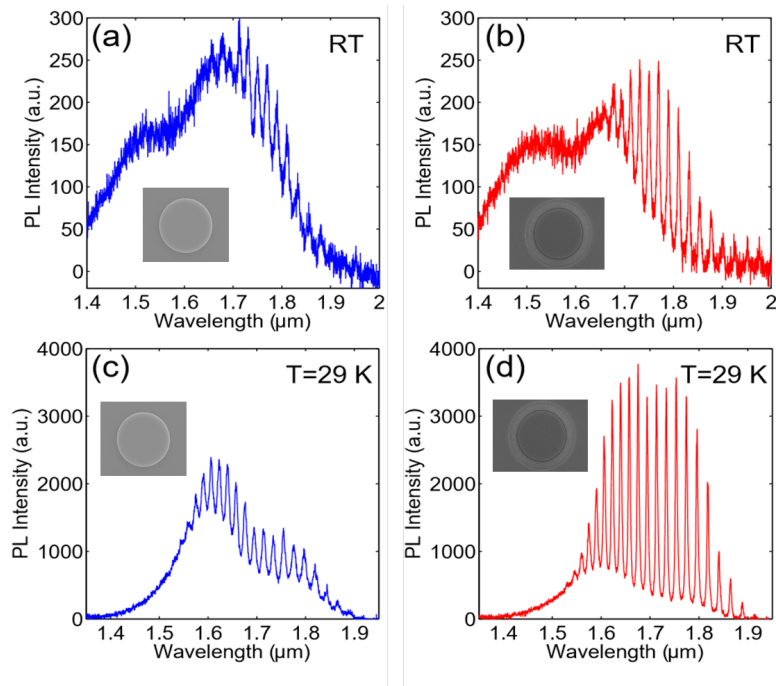


図 7 (a) (c) 通常の GOI マイクロディスクと (b) (d) 円形ブラッググレーティングを有するマイクロディスク構造の PL スペクトル

認められ、これは Band Gap Narrowing によるものと考えられる。エネルギーシフト量から電子濃度を見積もったところ、P の活性化率は 20%程度と低いことが分かった。

以上、Ge-on-Si から GOI 化、さらに n 型ドーピングを施すことにより、40 倍の発光強度増大が得られたことになり、本構造の有効性が示された。

3.3. 円形ブラッグ・グレーティングを有する GOI マイクロディスク共振器構造

n 型ドーピング GOI を用いて、円形ブラッグ・グレーティング(CBGs)を有するマイクロディスク構造を作製した。SEM 像を図 6 に、室温と低温(27 K)での PL スペクトルを図 7 に示す。CBGs の有無にかかわらず、周期的な FP 共振ピークが確認できる。CBGs の形成により、バンドギャップ付近から約 1.9 μm までの波長域で、高コントラストな FP 共振ピークの観測に成功した。さらに、1.6 μm 付近の共振ピークの Q 値は、通常のマイクロディスクの場合は 130 であるが、CBGs の形成により 370 と約 2 倍の増大が得られた。これは、従来のマイクロディスクの端面と比較し、CBGs によって反射率が大きく向上していることに起因する。詳細な評価より、反射率は 3 倍程度向上し、さらにグレーティング周期の制御によって共振発光強度向上が可能であることが示された[9]。これより、低閾値 Ge レーザー実現に向けて、CBGs が非常に有望な構造であると言える。

4. まとめ

歪み Ge 発光構造の発光効率を向上させるための我々の最近の取り組みを紹介した。今後さらなる Ge 結晶の低欠陥化, Ge/SiO₂ 貼り合わせ界面, 共振器構造の表面・側面の高品質化・不活性化, n 型不純物の活性化率向上と歪み率の向上が低閾値 Ge レーザー実現に向けて重要であると考えられる。

【参考文献】

- [1] S. Saito, A. Z. Al-Attili, K. Oda, and Y. Ishikawa, Towards monolithic integration of germanium light sources on silicon chips, *Semicond. Sci. Technol.* vol.31, 043002, March 2016.
- [2] J. Liu, X. Sun, R. Camacho-Aguilera, L. C. Kimerling, and J. Michel, Ge-on-Si laser operating at room temperature, *Opt. Lett.* vol.35, no.5, pp. 679-681, March 2010.
- [3] R. E. Camacho-Aguilera, Y. Cai, N. Patel, J. T. Bessette, M. Romagnoli, L. C. Kimerling, and J. Michel, An electrically pumped germanium laser, *Opt. Express* vol.20, no.10, pp.11316-11320, May 2012.
- [4] R. Koerner, M. Oehme, M. Gollhofer, M. Schmid, K. Kosteki, S. Bechler, D. Widmann, E. Kasper, and J. Schulze, Electrically pumped lasing from Ge Fabry- Perot resonators on Si, *Opt. Express* vol.23, no.11, pp.14815-14822, June 2015.
- [5] Y. Hoshi, K. Sawano, K. Hamaya, M. Miyao, and Y. Shiraki, Formation of Tensilely Strained Germanium-on-Insulator, *Appl. Phys. Express* vol.5, 015701, December 2012.
- [6] K. Nishida, X. Xu, K. Sawano, T. Maruizumi, Y. Shiraki, Highly n-doped, tensile-strained Ge grown on Si by molecular beam epitaxy, *Thin Solid Films* vol.557, pp.66-69, 2014.
- [7] X. Xu, X. Wang, K. Nishida, K. Takabayashi, K. Sawano, Y. Shiraki, H. Li, J. Liu, and T. Maruizumi, Ultralarge transient optical gain from tensile-strained, n-doped germanium on silicon by spin-on dopant diffusion, *Appl. Phys. Express* vol.8, 092101, August 2015.
- [8] K. Sawano, X. Xu, S. Konoshima, N. Shitara, T. Ohno, and T. Maruizumi, Straining of Group IV Semiconductor Materials for Bandgap and Mobility Engineering, *ECS trans.* vol.75, pp.191-197, October 2016
- [9] Xuejun Xu, Hideaki Hashimoto, Kentarou Sawano, and Takuya Maruizumi, Highly n-doped germanium-on-insulator microdisks with circular Bragg gratings, *Opt. Express* vol.25, pp.6550-6560, March 2017.
- [10] X. Xu, H. Hashimoto, K. Sawano, H. Nohira, and T. Maruizumi, Enhanced light emission from germanium microdisks on silicon by surface passivation through thermal oxidation, *Appl. Phys. Express* vol.9, pp.052101-1~4, March 2016.

テーマ 1

「エピタキシャル Ge 上の直接 ALD による Al_2O_3 層の形成と評価」

1. はじめに

近年 Si に代わる次世代 CMOS のチャネル材料として移動度の高い Ge が注目されている。特に歪み Ge はバルクを大きく超える室温正孔移動度が報告されている[1, 2]。Ge CMOS の実用化へ向けての最重要な課題は、Ge 表面への良質なゲート絶縁膜の形成と言える。しかしながら、high- k ゲート絶縁膜と Ge の積層構造における界面準位密度(D_{it})は、一般的に $10^{12} \text{ eV}^{-1}\text{cm}^{-2}$ 台と高く[3-6]、この低減のための様々な手法が開発されてきた。原子層堆積(ALD)により Al_2O_3 膜を堆積後に、電子サイクロトロン共鳴(ECR)プラズマ酸化することで $10^{11} \text{ eV}^{-1}\text{cm}^{-2}$ 以下の低 D_{it} 並びに高移動度($\sim 600 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$)の p-MOS 動作が報告されている[7-9]。さらに、high- k/Ge 構造に対して GeO_2 を挿入すること[10,11]やポストアニールを施すことでも低 D_{it} を実現することに成功している[12]。

一般に Al_2O_3 膜は Ge 基板のウェット洗浄後に成膜されるが、Si と比べて Ge の洗浄では良質な水素終端が得られず、界面への不純物混入が危惧される。よって、 Al_2O_3 膜と Ge 表面の界面をより高品質化することが、さらに低 D_{it} 化を実現するために重要であると考えられる。そこで今回我々は、MBE を用いて Ge を Ge 基板上にホモエピタキシャル成長させた後、ALD 法によって Al_2O_3 膜を堆積させた。ここで、MBE、ALD 両チャンバーは真空接続され、試料を大気に曝さずに搬送できるようになっている。今回、XPS 測定による化学結合状態評価から、エピ Ge 上の直接 ALD により、界面特性の改善を確認したので報告する。

2. 実験条件

本研究で作製した試料構造を Fig.1 に示す。まず、n-Ge(100)基板に固体ソース分子線エピタキシー(SS-MBE)を用いて Ge 層(50 nm)をエピタキシャル成長させた後、ALD チャンバーへ真空内搬送し Al_2O_3 を堆積させた(試料 A)。この試料の比較用として、別に 2 通りの方法で試料を作製した。1 枚目は、試料 A と同様、MBE により Ge 層(50nm)をエピタキシャル成長させた後、一度 5 分間大気に晒し、ALD チャンバーへ再搬入して Al_2O_3 を堆積させた(試料 B)。比較試料 2 枚目は n-Ge(100)基板を NH_3 水溶液と希 HF 及び超純水による化学洗浄後、ALD チャンバーに導入し、 Al_2O_3 膜を堆積させた(試料 C)。ALD 原料は、いずれもトリメチルアルミニウム(TMA)と H_2O を使用し、基板温度 200°C で、50~400 サイクル成膜させた。

3 通りの方法で作製した試料は、分光エリプソメータによる Al_2O_3 膜の膜厚評価、さらに X 線光電子分光法(XPS)により化学結合状態を詳細に調べた。このときの線源は $\text{AlK } \alpha$ (1486.6 eV)、光電子脱出角(TOA)は 15° 、 21° 、 30° 、 52° 、 90° で測定した。各角度のスペクトルにおける各ピーク強度比を取ることで、積層構造の元素分布について評価した。

3. 結果及び考察

まず、分光エリプソメータにより各試料の測定を行い、フィッティングによって Al_2O_3 膜の膜厚を見積もった。TMA ガス流入、 H_2O ガス流入、パージを 1 サイクルとし、膜厚のサイクル数依存性を調べた (Fig.2)。

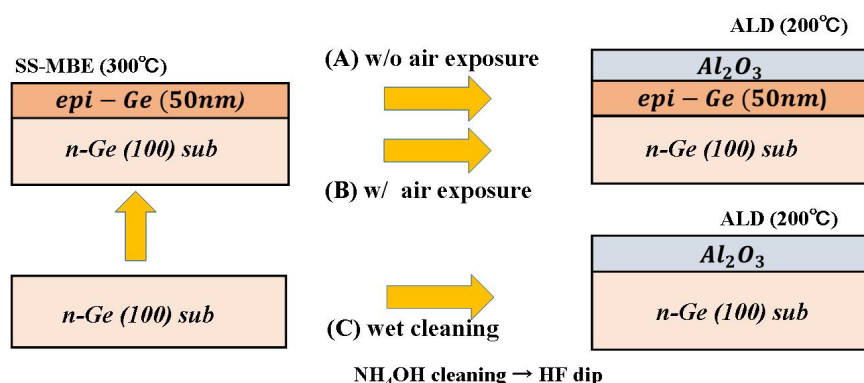


Fig.1 Sample structures formed in this study. (A) ALD Al_2O_3 on epi-Ge with air exposure, (B) ALD Al_2O_3 on epi-Ge without air exposure and (C) ALD Al_2O_3 on wet-cleaned Ge substrate.

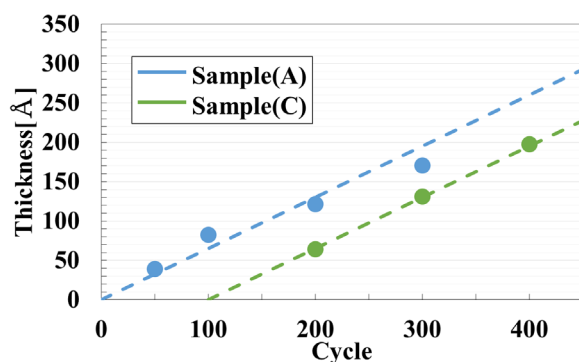


Fig.2 ALD Al_2O_3 thickness against ALD cycle for Samples (A) and (C)

ウェット洗浄後に ALD を行った試料(C)では、明らかに膜の堆積開始に遅れを確認できた。一方、エピ Ge 成長後、真空内搬送を行い ALD した試料(A)ではこの堆積遅れが見られず、ALD 開始時から膜が生成され始めることがわかる。これは、エピタキシャル成長後、真空内で搬送することで清浄なエピ Ge 表面にダングリングボンドが残り、OH 基が容易に結合できるためであると考えられる。

試料の界面状態をより詳細に調べるため、ALD を 20 サイクルで成膜した試料(A)(B)の XPS 測定(脱出角:21°)を行った (Fig.3)。脱出角度を 21°と浅くすることで、より基板表面近傍の構成元素を調べることができる。まず Fig.3(a)から、真空内搬送を行った試料(A)の Al_2O_3 ピーク強度に比べて、一度大気に曝した試料(B)のピーク強度(Fig.3(b))からは強度比を考慮すると Al はほとんど存在していないことが分かる。つまり試料(B)表面付近には Al がほとんど存在していないと言え、このことからエピタキシャル成長させた Ge 上に ALD を行っても、エピ成長後に試料表面を大気に暴露することで、ウェット洗浄した試料(C)のように Al_2O_3 堆積に遅れが発生していることがわかる。

Fig.3(d)からは、特に試料(B)の GeO_x ピークの存在が明らかで、一方 Fig.3(c)の真空内搬送を行った試料(A)にはほとんど見られない。また、試料(A)の Ge ピークが低いのは、基板表面付近に Ge の存在が少ないことを表している。つまり反対に Ge ピークが高い試料(B)では基板表面に Ge が多く存在していることがわかる。このことからエピタキシャル成長した Ge 上に Al_2O_3 を堆積させる際 ALD 装置へ真空内搬送を行うことで Ge の酸化も抑制できるといえる。

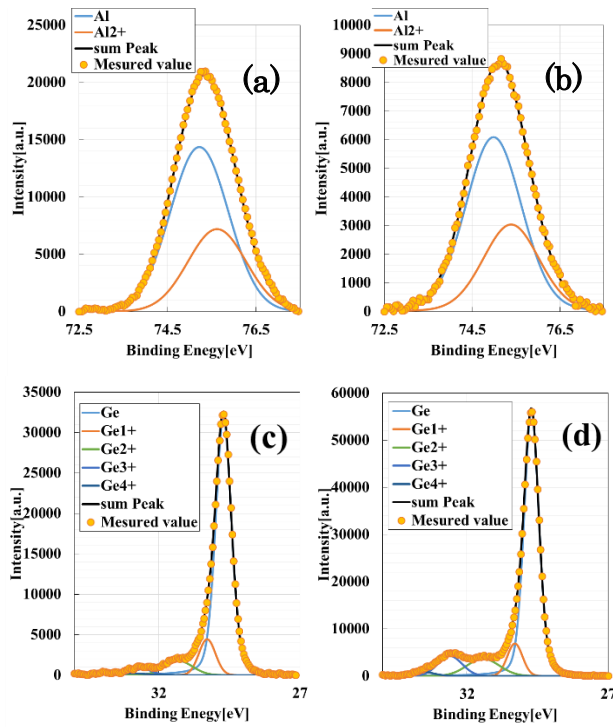


Fig. 3 (a)(b) Al 2p and (c)(d) Ge 3d XPS photoelectron spectra at various TOA for sample(A) (a)(c) and sample(B) (b)(d).

また、エピ Ge 後一度大気へ曝し ALD した試料(B)の XPS 測定(Fig.3)結果で GeO_x が存在していることがわかったので、5つの角度ごとに測定を行い試料構造を調べた。Fig.4(a)(b)(c)(d)でこの測定結果を示す。角度分解と強度の関係からは、脱出角度(TOA)が浅いとき基板表面、脱出角度が深いとき基板のより深くに何の元素の存在が多いかを見ることが出来る。Fig.4からは、Al 2p のピークは脱出角度が浅いほど高く、深いほど低いことが読み取れる。Ge 3d の場合脱出角度とピーク強度の関係は Al 2p と逆であった。

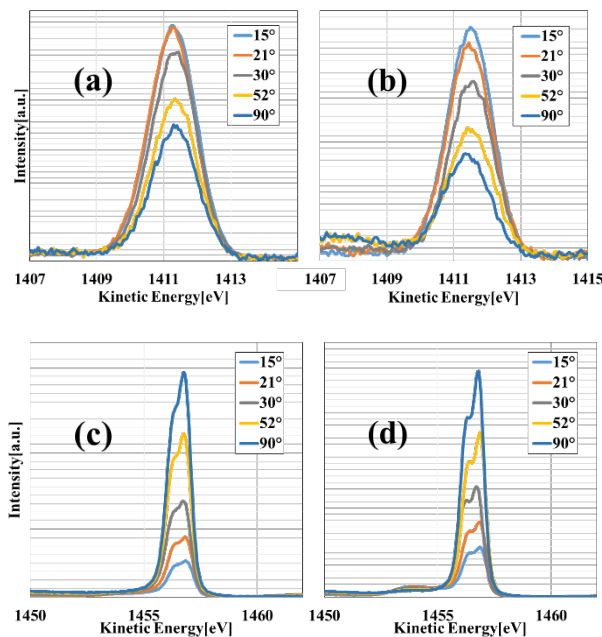


Fig. 4 (a)(b) Al 2p and (c)(d) Ge 3d XPS photoelectron spectra at various TOA for

Fig.4 での結果を Fig.5(a)(b)では、各角度でのピーク強度面積を算出し、GeO_x に注目して比較を行った。Fig.5(a) $I_{Al^{2+}}/I_{GeO_x}$ では脱出角度が浅いとき強度比が高く、脱出角度が深くなるにつれて強度比は低くなっている。このことから、ウェット洗浄後 ALD した試料(B)の表面には GeO_x よりも Al²⁺ が多く存在していることがわかる。また、 I_{Ge}/I_{GeO_x} では脱出角度が浅いとき強度比が低く、脱出角度が深くなるにつれて強度比は高くなっている。これもまた、基板深くになるほど Ge が多くなっていると考えられるため、このことから試料(B)は Al₂O₃/GeO_x/Ge(sub)構造であるといえる。さらに、真空内搬送した試料(A)で、先ほどと同様に脱出角度における元素強度面積の比較を行った。強度比と脱出角度の関係は試料(B)のときと、おおよそ変わらないが、 $I_{Al^{2+}}/I_{GeO_x}$ のすべての値は試料(B)よりも圧倒的に大きかった。ここでも、角度と強度比の関係から試料(A)は Al₂O₃/GeO_x/Ge(sub)構造であるといえる。

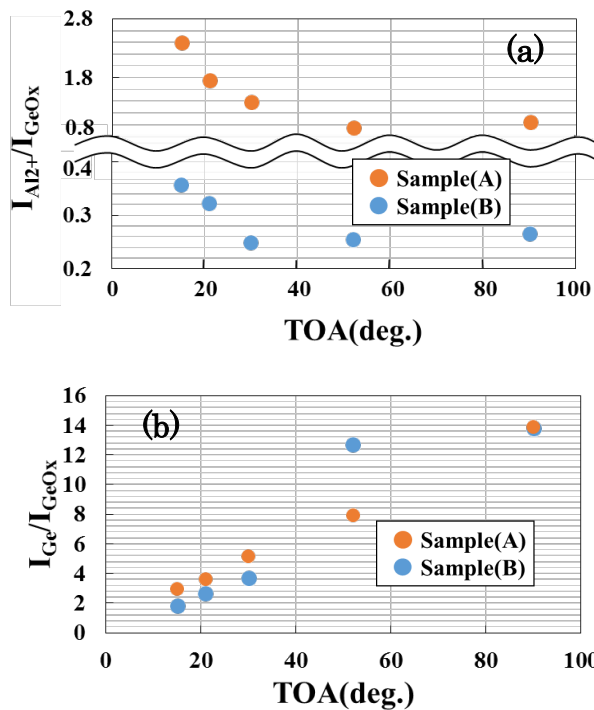


Fig.5 TOA dependence of the area intensity ratios between (a) the Al²⁺ peak and the GeO_x peak intensities and (b) Ge peak and the GeO_x peak intensities for the Al₂O₃/Ge MOS capacitors(sample(A) and sample(B)).

4. まとめ

エリプソメータによる膜厚測定では、Ge をエピタキシャル成長させた後、真空内で ALD 装置へ搬送、ALD 方により Al₂O₃ を堆積させた試料は H 終端後 ALD した試料と比べると 100cycle 近く遅れ時間を短縮することができた。XPS では、サイクル数を固定し、スペクトル比較することで、エピ Ge 後直接 ALD した試料では Al₂O₃ が堆積されていたため遅れ時間が抑制されたこと、また基板表面における Ge の酸化がかなり抑制されることがわかった。このときのスペクトルは各脱出角度で測定し、それぞれのスペクトルからピークごとの面積を算出することにより基板深さ方向に関わる元素の存在を調べることができる。エピ Ge 成長後一旦大気へ晒し ALD した試料では GeO_x が存在していたが、この解析によって Al₂O₃/GeO_x/Ge(sub)構造をとっていたことがわかった。エピ Ge 後直接 ALD した試料でも同様の構造をとっていたことがわかり、 $I_{Al^{2+}}/I_{GeO_x}$ の強度比もエピ Ge 後大気へ晒し

ALD した試料よりも高い値を得た。以上の結果より、エピタキシャル成長させ、直接 ALD を行うことで、完全に清浄な表面へ高品質な Al₂O₃ 膜が形成でき、界面特性の向上へつながることが期待される。

【参考文献】

- [1] T. Tanaka *et al.*, APL **100** (2012) 222102.
- [2] M. Myronov *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **53** (2014) 04EH02.
- [3] A. Dimoulas *et al.*, Appl. Phys. Lett., **86** (2005) 032908.
- [4] C. O. Chui *et al.*, IEEE Trans Electron Dev., **53** (2006) 1501
- [5] M.-k. Bera *et al.*, Semicond. Sci. Technol., **22** (2007) 1352.
- [6] V. V. Afanas'ev *et al.*, Appl. Phys. Lett., **87** (2005) 032107
- [7] R. Zhang, *et al.*, J. Electro. Soc. **158(2)** (2011) 178
- [8] R. Zhang, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **98** (2012) 112902
- [9] R. Zhang, *et al.*, IEEE Trans. Electron Dev., **61 NO. 2** (2014) 416
- [10] S. Zaima *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **55** (2016) 08PC05
- [11] A. Toriumi *et al.*, Appl. Phys. Lett. **104** (2014) 092909
- [12] K.-kato, *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **52** (2013) 04CA08

テーマ 1 「SiGe エッチングストップ層を用いた貼り合わせ薄膜 GeOI 基板の作製」

【はじめに】

近年、シリコンプラットフォーム上の発光・受光デバイス、また高移動度チャンネル CMOS 応用に向け Ge が注目されている。特に、引っ張り歪みによるバンド構造変調により、発光・受光効率や移動度の増大が期待できる。その中、我々はこれまでに、Ge エピタキシャル成長と貼り合わせによって、歪み Ge-on-Insulator (GOI) 基板の開発を行っている[1,2]。デバイス応用の点から、GOI 膜の均一性、薄膜化が重要である。通常 GOI の薄膜化はエッチングまたは CMP が利用されるが、エッチングや研磨レートのばらつきにより、大面積化において均一性制御は非常に難しい。そこで今回、Ge 膜上に SiGe 層を挿入することで、エッチングストップ層とし、エッチング制御のみで GOI の薄膜化を試みた。

【研究手法と成果】

Fig.1 に GOI 作製プロセスを示す。Si(100)基板上に固体ソース MBE を用いて、Ge 層を 2 段階の成長温度で作製した(LT-Ge: 40 nm, 350 °C、HT-Ge: 500 nm, 600 °C)。その上に、エッチングストップ Si_{0.3}Ge_{0.7}層 (7 nm, 400°C)、GOI となる Ge 層(100 nm, 400°C)を成長させた。試料の降温時に、Si と Ge の熱膨張差により、Ge 層に引っ張り歪みが生じる。この試料を SiO₂/Si ハンドル基板に貼り合わせ、研磨と KOH で Si 層を除去した。その後、H₂O₂ による Ge のエッチングを SiGe 層まで行い、最後に KOH で SiGe 層の選択エッチングを行うことで薄膜 GOI を形成した。

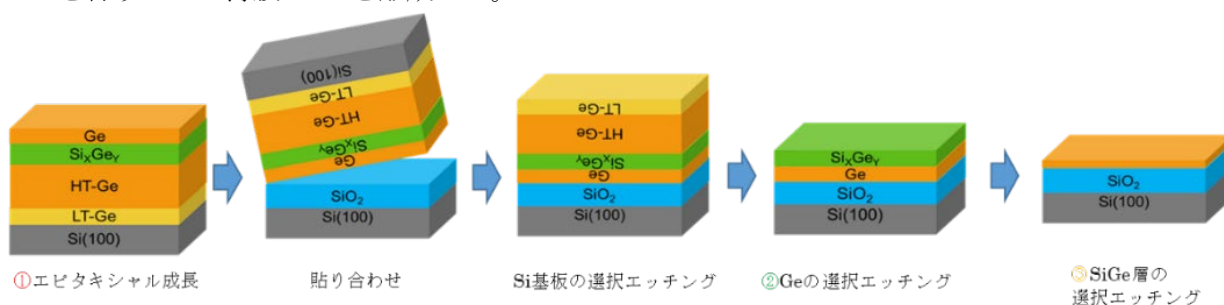


Fig.1 エピ成長と貼り合わせによる歪みGOI作製プロセス

Fig.2 に各段階でのラマン測定結果を示す。各段階において Ge 層の引っ張り歪みが維持されていることが確認でき、歪み率 0.22%を有する薄膜 GOI が得られた。Fig.3 にホール測定結果を示す。室温において 1000 cm²/Vs を超える正孔移動度が得られ、またバルク Ge と同様な温度特性から、高品質な GOI が得られていると言え、高移動度 CMOS デバイスへの応用が期待できる。

【参考文献】 [1] Y. Hoshi et al., APEX 5, 015701 (2012). [2] K. Sawano et al., Thin Solid Films 613, 24 (2016).

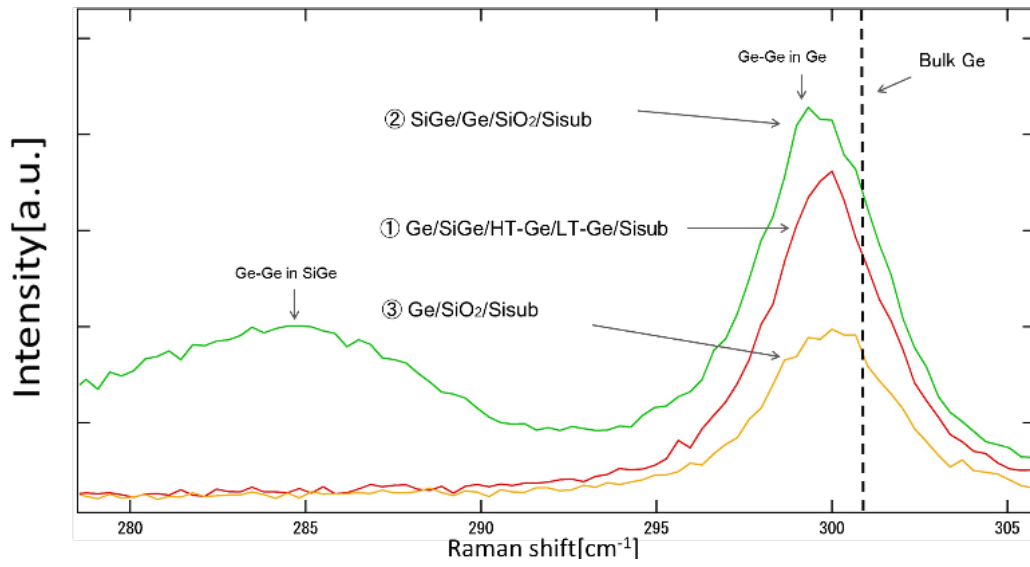


Fig.2 各作製ステップにおけるラマンスペクトル

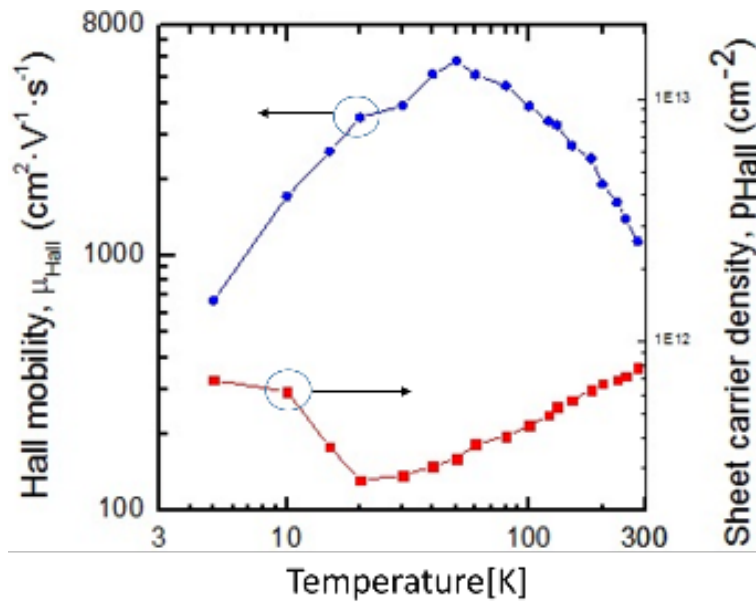


Fig.3 GOI 構造のホール移動度と正孔密度の温度特性

テーマ1

「MBE と ALD による Al₂O₃/歪み Ge 表面チャネル構造の形成と電気特性評価」

【はじめに】

歪み Ge は、次世代 CMOS の p チャネル材料として期待されている。さらに Ge はスピン軌道相互作用が大きいことから、高移動度 2 次元ホールガスによるスピンドバイス応用も検討されている。これらの実現に向けて良質なゲート絶縁膜/歪み Ge チャネル構造の形成が重要であるが、表面チャネルでは大きく移動度が劣化してしまう問題がある。今回我々は、歪み Ge 成長後に、真空搬送により直接 ALD を用いて Al₂O₃ 膜を形成して Al₂O₃/歪み Ge 構造を作製し、電気特性評価を行った。

【研究手法と成果】

作製した試料構造を Fig.1 に示す。n 型 Si(100)基板上に減圧 CVD を用いて作製した傾斜組成緩和 Si_{0.6}Ge_{0.4} バッファ層上に、固体ソース MBE を用いて歪み Ge チャネル層 20 nm を 300 °C で作製した。その後、真空内搬送により ALD チャンバーへ試料を移し、ALD により Al₂O₃ 膜を 10nm 堆積した。比較用に Al₂O₃ 膜を形成しない構造も作製した。成膜後、ホールバーを形成し、ホール測定を行った。

Fig.2 にホール移動度と正孔密度の温度依存性を示す。表面チャネル構造においても 2 次元正孔ガスが形成されていることが確認され、Al₂O₃ 膜により正孔のチャネル内閉じ込めが良好であることが分かった。なお、Al₂O₃ 膜の無い比較試料では 2 次元正孔ガスが生じず、測定ができなかった。得られた移動度は、埋め込み型の歪み Ge チャネル構造に匹敵しており、高品質な Al₂O₃/歪み Ge 界面が得られていると言え、表面チャネル高移動度歪み Ge デバイスへの応用が期待できる。

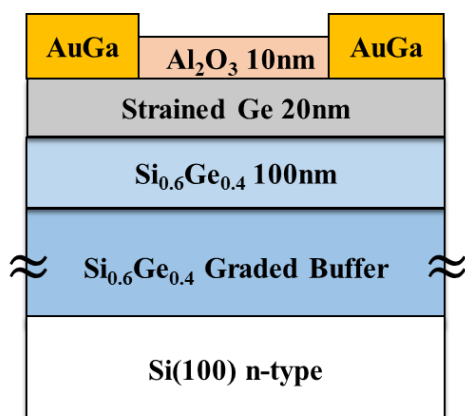


Fig.1 歪み Ge MOS 構造

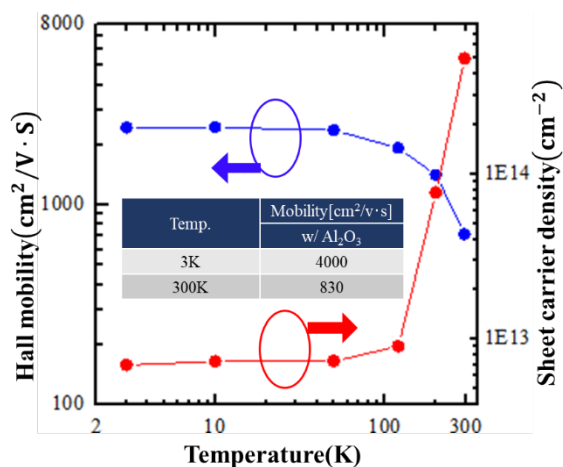


Fig.2 歪み Ge MOS 構造の Hall 移動度と正孔濃度の温度特性

テーマ1 「貼り合わせ法によるガラス基板上 Ge 膜形成」

【はじめに】

透明ガラス基板やフレキシブル基板上に単結晶 Ge 薄膜を形成できれば、ディスプレイやウェアラブルデバイス等への新規デバイス応用への道が開ける。さらに Ge は発光材料としても有望で、特にガラス基板等との熱膨張率差を利用して高い引っ張り歪みの導入とそれによる直接遷移化が期待できる。我々は、エピ Ge 膜の貼り合わせ法による、ガラス上 Ge 薄膜(Ge-on-Glass)の形成を検討しているが、ガラス上へ貼り合わせ強度が弱いという問題があった。本研究では貼り合わせ界面へのアモルファス Ge 層挿入による効果を調べた。

【研究手法と成果】

Si(100)基板に固体ソース MBE を用いてまず低温成長 Ge 層(LT 層)を成長温度 350 °C で 40 nm 成長させ、続いて高温成長 Ge 層(HT 層)を成長温度 600°C で 300 nm 成長させた。また、ガラス基板

上に室温にて Ge を 100nm 堆積させた。これらの基板をアンモニア溶液処理後、直接貼り合わせ、熱処理 (300°C 1.5h + 550°C 1.5h) を施した。(Fig. 1)

貼り合わせ界面に挿入した Ge 膜の結晶性についてラマン分光法により調べた。ガラス基板上への Ge 堆積直後と、貼り合わせをせずに熱処理した場合、それぞれアモルファスと多結晶を示すピークが見られた。一方、Ge-on-Si と貼り合わせた後に熱処理を行った試料について、ガラス裏面から貼り合わせ界面の Ge を評価すると、単結晶と考えられるピークが確認された。これより、アモルファス Ge が貼り合わせた HT-Ge 層から徐々に結晶化したと考えられ、単結晶 Ge のみがガラス上に残ることになる。

以上の結果より、Ge 膜のガラス上への貼り合わせが容易となり、ガラス上 Ge 薄膜デバイス応用への道が開けた。

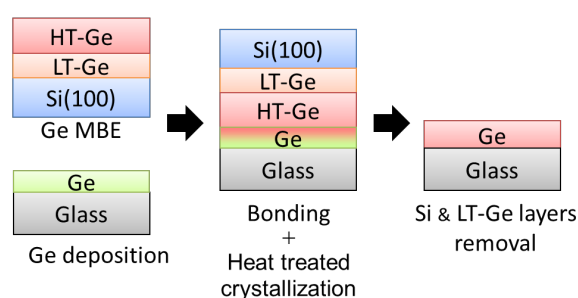


Fig. 1 Fabrication process of Ge-on-glass.

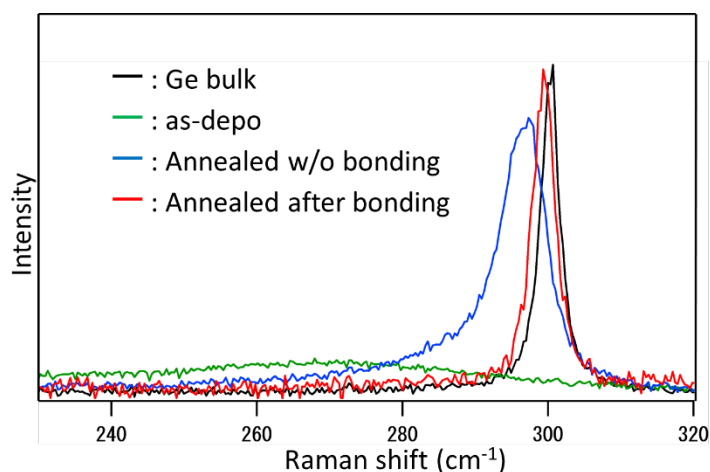


Fig. 2 Raman spectra of Ge layer deposited on glass.

テーマ1 「パターニングによる歪み SiGe 層中クラック発生の抑制」

【はじめに】

近年 Ge(111)は、電子の移動度が高いことや、高品質強磁性体のエピタキシャル成長が可能であり、スピントロニクスに応用できることから注目を集めている。さらに Ge 上に歪み $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ (111) チャンネルを形成することで歪み効果による特性向上が期待される。これまでに我々は、歪み $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 層の歪み緩和初期段階において、クラックの発生とそれによるリッジ状の表面ラフネスが生じることを明らかにした。今回、下地の Ge-on-Si 層をパターニングすることで、 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 層へのクラックの発生を抑制できることが分かった。

【研究方法と成果】

2 段階成長法を用いて Ge-on-Si(111)を作製した。Si(111)基板上に固体ソース MBE を用いて低温 Ge 層 (40 nm, $T_g=400^\circ\text{C}$)、高温 Ge 層 (650 nm, $T_g=700^\circ\text{C}$)を成長させ、成長後 800°C で 10 分間アニールを行った。作製した Ge-on-Si(111)にフォトリソグラフィ工程を用いて Fig. 1(a)に示すような Line&space (Line 幅: 3~20 μm)のパターンを形成した。パターン形成後、 $\text{Si}_{0.2}\text{Ge}_{0.8}$ 層 (90 nm, $T_g=350^\circ\text{C}$)を成長させた。参照用としてパターニングを行わない試料も同様に作製した。

Fig. 1 のレーザー顕微鏡像、AFM 像から、パターン無しではリッジ状の表面ラフネスが高密度に発生していることが分かる。一方、パターニングを行った試料では、Line パターン上に成長した SiGe 表面にそのようなラフネスが全く生じていない。すなわち、パターニングによって SiGe 層へのクラックの発生を抑制できることを示しており、臨界膜厚の増加が期待でき、これは歪み SiGe を利用したデバイス应用到に有効であることを示している。

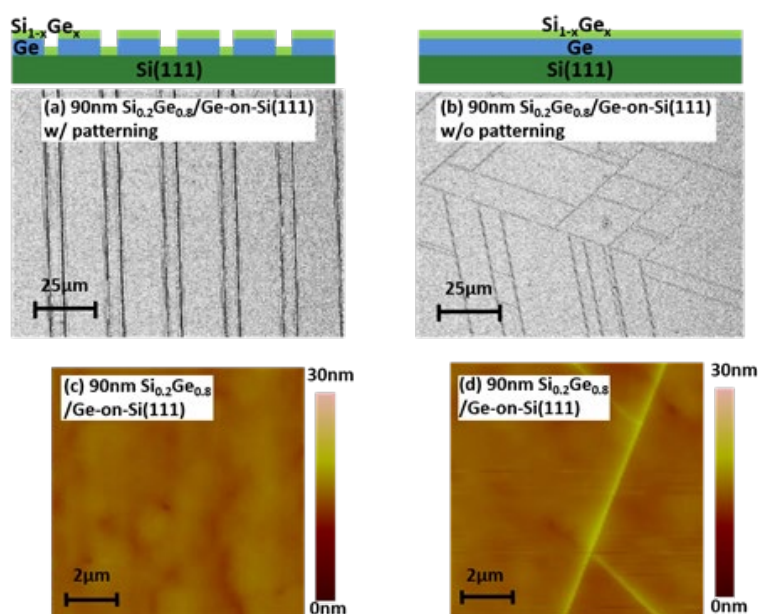


Fig. 1 Laser microscopic and AFM images for 90 nm thick $\text{Si}_{0.2}\text{Ge}_{0.8}$ on the Ge-on-Si(111) substrates (a) (c) with and (b) (d) without patterning, respectively.

テーマ1 「In-situドーピングによる Ge-on-Si(111)の n 型伝導制御」

【はじめに】

Ge(111)チャンネルは高い電子移動度を有することや、強磁性体が結晶成長可能であることから、スピンドバイスへの応用が期待されている。実用化へ向けて、Si 基板上に高品質 Ge 膜を形成することが必須であるが、通常 Ge-on-Si(111)は欠陥に起因し p 型伝導を示し、その n 型制御が重要課題である。本研究では、Si(111)基板上に In-situ n 型ドーピング Ge エピタキシャル層を各温度で成長させ、不純物分布と電気伝導特性について詳細に調べた。

【研究方法と成果】

作製した試料構造を Fig.1 に示す。Si(111)基板上に固体ソース MBE を用いて、成長温度 (T_g) 350°C で 40 nm の Low-Temperature (LT)-Ge 層を成長し、その後 $T_g = 300, 400, 500^\circ\text{C}$ と異なる温度で 400 nm のリン(P)ドーピング n-Ge 層を成長した。成長後に真空中で 800°C 10 分間のアニールを行った。P 濃度の深さ分布の評価には SIMS 測定、キャリア密度の深さ分布の評価には広がり抵抗測定(SRA)、移動度とキャリア密度の評価は Hall 測定を行った。

Fig. 2 に $T_g = 400, 500^\circ\text{C}$ の試料の SIMS と SRA のプロファイルを示す。成長温度が低いほど、高い P 濃度と電子密度が得られ、成長中の P の偏析が抑制された結果である。

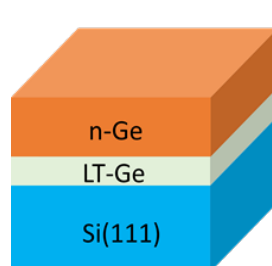


Fig.1 Structure of P-doped Ge-on-Si (111).

SIMS と SRA から測定された濃度はほぼ等しく、100%近い活性化率を示している。Fig.3 に電子移動度の温度特性を示す。成長温度が高いほど、P 不純物濃度が低いことを反映して、高い電子移動度が得られた。特に $T_g = 500^\circ\text{C}$ の試料では、室温(300K)において電子移動度 1800 (cm^2/Vs)が得られ、この値は Irvin 曲線にほぼ乗っており、バルクと同等品質な n 型 Ge が、Si(111)基板上に形成されているといえる。以上より、Ge-on-Si の成長における in-situ P ドーピングによって、高い活性化率で n 型濃度制御された Ge 膜が形成可能であることが示された。

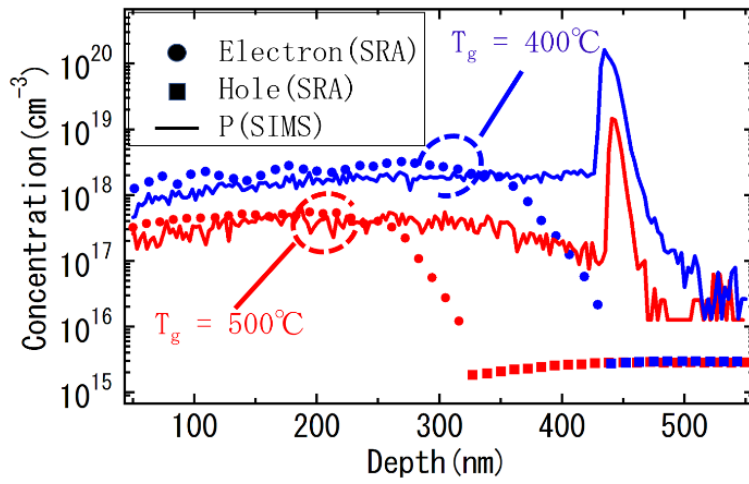


Fig.2 P and carrier density profiles obtained by SIMS and SRA for Ge-on-Si(111) with T_g of 400 and 500°C.

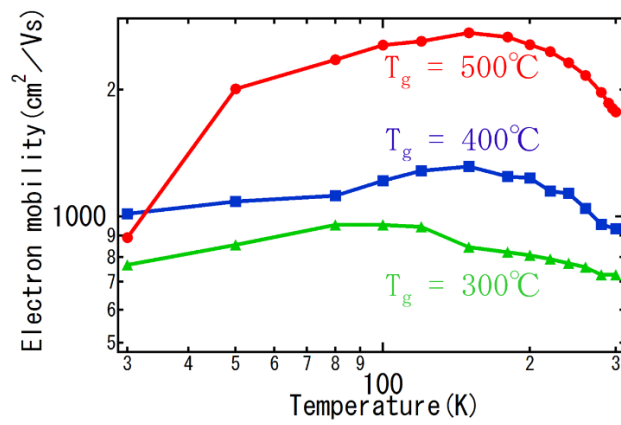


Fig.3 Temperature dependence of electron mobility for Ge-on-Si(111) with T_g of 300, 400 and 500°C.

テーマ2 「円形ブラッグ・グレーティングを有する Ge マイクロディスクの共振 PL」

1. はじめに

シリコンチップ上の光電子集積回路 (Optoelectronic Integrated Circuit: OEIC)の実現に向け、発光源として Ge が注目されている [1,2]。Si 基板上に Ge をエピタキシャル成長させることで、熱膨張率の違いから Ge に引っ張り歪みが導入される。Fig. 1 に示すように、バルク Ge において Γ 点と L 点のエネルギー差は 126 meV と小さい。引っ張り歪みの導入により、このエネルギー差を縮めることが可能となる。さらに、高濃度 n 型ドーピングによって Γ 点での電子濃度を増大させることにより、発光効率の増大が確認されている [3-6]。

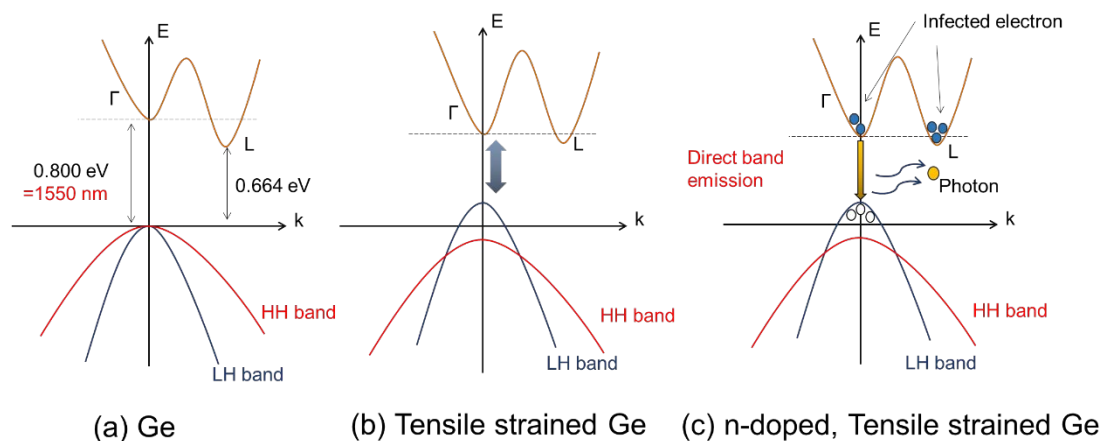


Fig. 1 Band structures of Ge and strained or/and n-doped Ge

しかし、発光デバイス実現において課題が複数存在する。1つは、Ge/Si ヘテロ界面近傍に存在する、歪み緩和に伴う転位などの多量の欠陥による非発光再結合である。2つ目は、光共振器構造をドライエッチングにより形成した際の、メサ側面や表面での再結合である。3つ目は、Fabry-Perot (FP)共振ピークにおいて、従来の円形メサ構造での端面の反射率である。Ge のバンドギャップ付近での FP 共振は観測されているが、コントラスト・Q 値共に低い事が課題となっている [7,8]。そこで本研究では、Ge/Si 界面の欠陥層の除去が可能な Ge-on-Insulator (GOI)構造を形成した [9]。GOI 構造においては、光の閉じ込め効果の増加もあるため、発光効率向上に有効である。さらに表面再結合抑制のため、 Al_2O_3 の堆積による表面不活性化の効果、円形メサ型構造に Circular Bragg gratings (CBGs)を組み合わせることによる反射率の増大を観測した。

2. 実験条件

Ge-on-Si (GOS)構造の成長は、Solid Source-Molecular-Beam-Epitaxy (SSMBE)を用いた [10]。成長方法は2段階成長法を採り、Si (100)基板上に成長温度 350 °Cにて 40 nm の Low-Temperature (LT)-Ge 層を成長し、その後 600 °Cにて 700 nm の High-Temperature (HT)-Ge 層の成長を行った。Fig. 2 に GOI 作製プロセスの概略図を示す。まず、成長した GOS 基板と熱酸化により形成した SiO_2/Si の親水化処理を施した後、貼り合わせ、結合強化のために 700 °Cで 1 時間熱処理を行った。次に、トップの Si 層を研磨と選択エッチングにより除去し、最後に Chemical-Mechanical-Polishing (CMP)によって欠陥を含む LT-Ge 層を除去し GOI 構造を形成した。

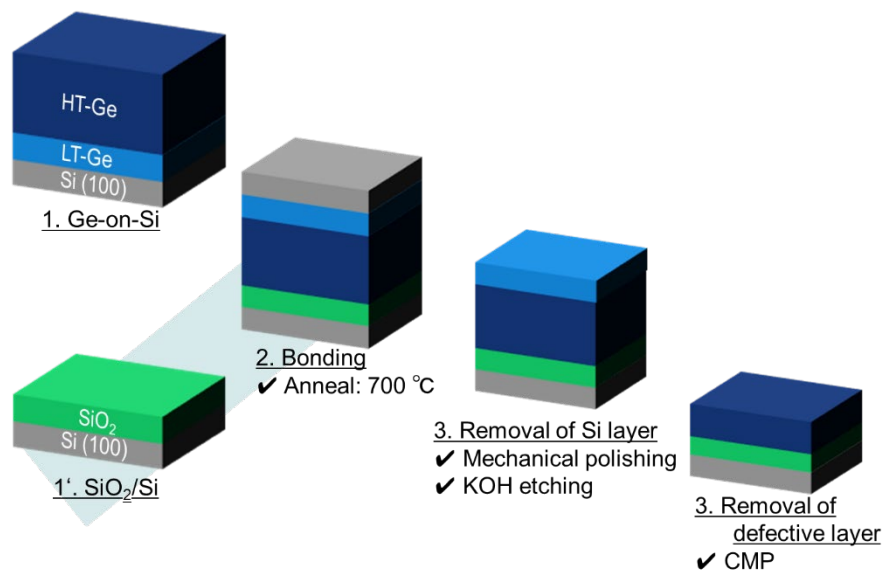


Fig. 2 Fabrication process of Ge-on-Insulator (GOI)

また本研究では、高濃度 n 型ドーピングを Spin-on-Dopants (SOD)を用いてリンの熱拡散によって行った。デバイス構造としては、円形 Ge メサ型構造 (マイクロディスク)と CBGs を形成した。Fig. 3 にマイクロディスク作製プロセスの概略図を示す。まず、GOI 基板に電子線描画装置を用いて直径 16.0 μm (CBGs の場合、マイクロディスクに加え、グレーティング周期 400 nm) のマイクロディスクのパターニングを行い、反応性イオンエッチングにより構造の形成を行った。また、光学特性評価において、光の検出確率を向上させる目的で Plasma-Enhanced-Chemical-Vapor-Deposition (PECVD)を用いて厚さ約 1 μm の SiO₂ を堆積した。

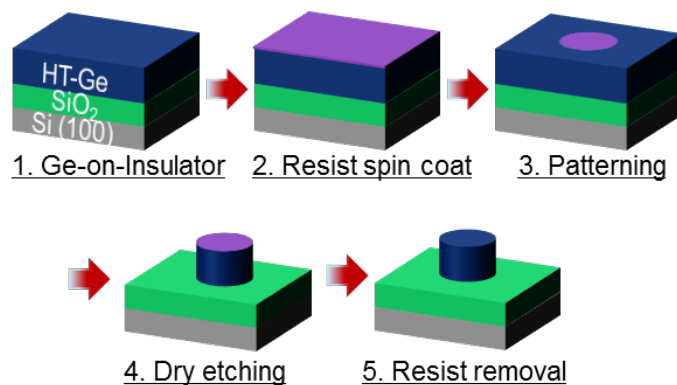


Fig. 3 Fabrication process of Microdisks

メサ側面、表面再結合の低減のために Atomic-Layer-Deposition (ALD)を用いて、Al₂O₃ を約 3 nm 堆積させることで、表面の表活性化を試みた。

3. 実験結果

Fig. 4 に Ge-on-Si 構造の評価結果を示す。歪み評価はラマン分光法を、光学特性評価は Photoluminescence (PL) を用いて行った。励起光波長は 976 nm、波長約 2.0 μm まで検出可能な長波長 InGaAs デテクタを使用した。シフト量より歪み率を算出した結果、約 0.24 % の引っ張り歪みの導入に成功した。室温下での PL からは約 1.5 倍の発光強度増大も確認された。

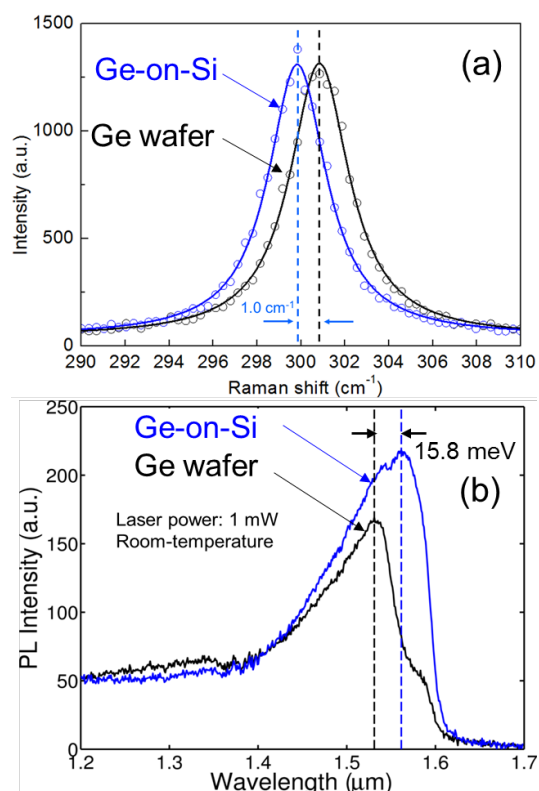


Fig. 4 (a) Raman spectra (b) Room temperature PL spectra of GOS and Ge wafer

GOI 構造も同様にラマン分光法と PL を用いて測定を行ったものを Fig. 5 に示す。歪み率は約 0.22 % となり、貼り合わせ後も GOS と同等の歪みが維持されていることが確認できた。光学特性評価は、GOI 構造とすることで、GOS と比較し約 20 倍の発光強度増大を達成した。これは、GOI 構造とすることで、欠陥を多く含む LT-Ge 層が除去されたため、非発光再結合が効果的に抑制されたためと考えられる。さらに、光の閉じ込めに関しては、GOS の場合、界面が Ge/Si 構造であるのに対し、GOI では Ge/SiO₂ と Si よりも屈折率の小さい SiO₂ 層があるために、Ge 内により強く光が閉じ込められた事も強度増大の要因と考えられる。

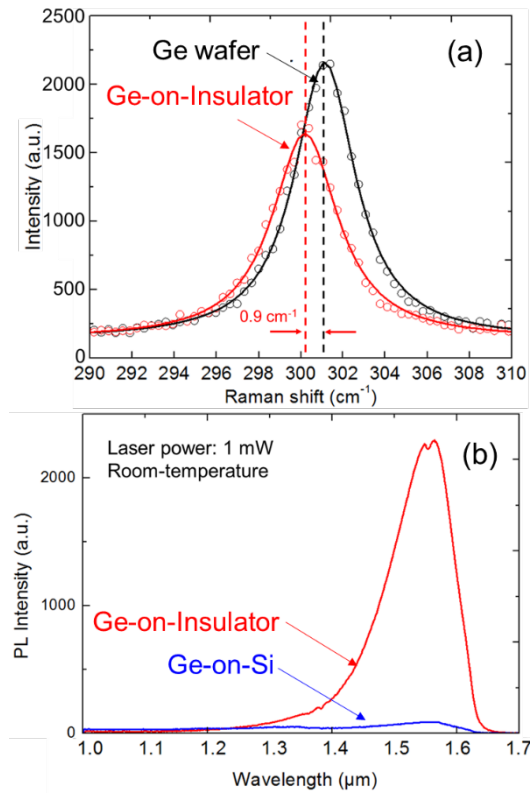


Fig. 5 (a) Raman spectra
(b) Room temperature PL spectra of GOI and GOS

これらの結果より、Ge 発光デバイスにおけるプラットフォームとして GOI 構造は有望であることが示唆された。

さらなる発光強度増大と、 Γ 点への電子注入のために n 型ドーピングを行った。Fig. 6 に n 型ドーピング GOI の断面 TEM 像とドーパントとして用いたリンの SIMS プロファイルを示す。

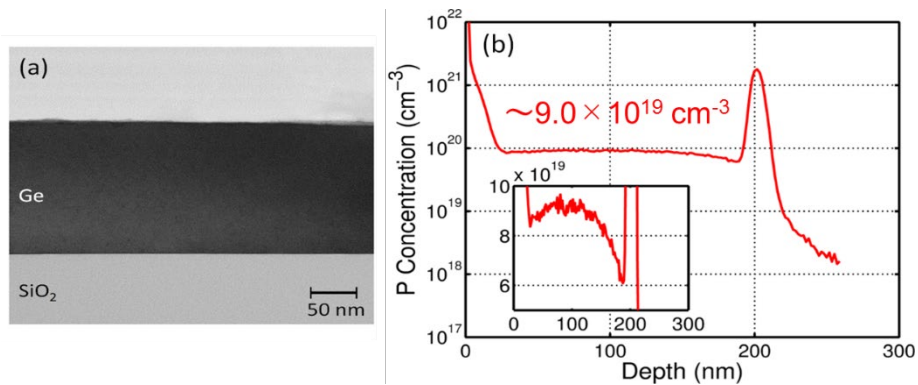


Fig. 6 (a) Cross-section TEM image of n-doped GOI substrate
(b) SIMS profile of phosphorus doping concentration

これらより、欠陥がなく、約 $9 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の一様なドーピング濃度を持つ GOI の作製に成功したと言える。また、光学特性評価の結果を Fig. 7 に示す。

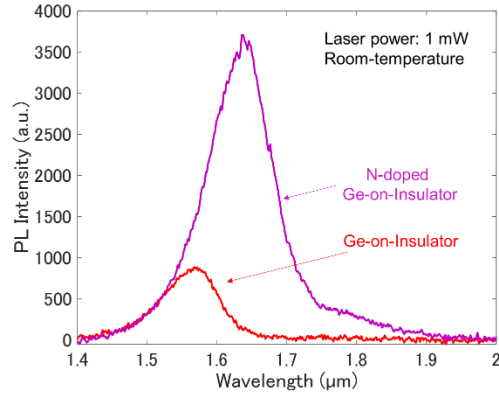


Fig. 7 Room temperature PL spectra of N-doped GOI and GOI

n 型のドーピングにより、さらに約 4 倍の発光強度増大を達成した。これは Γ 点への注入電子の増加に起因するものと考えられる。また、ドーピングによる発光ピークの長波長側へのシフトは、band gap narrowing によるものとする。次に、温度 27 K 下での CBGs の光学評価を Fig. 8 に示す。

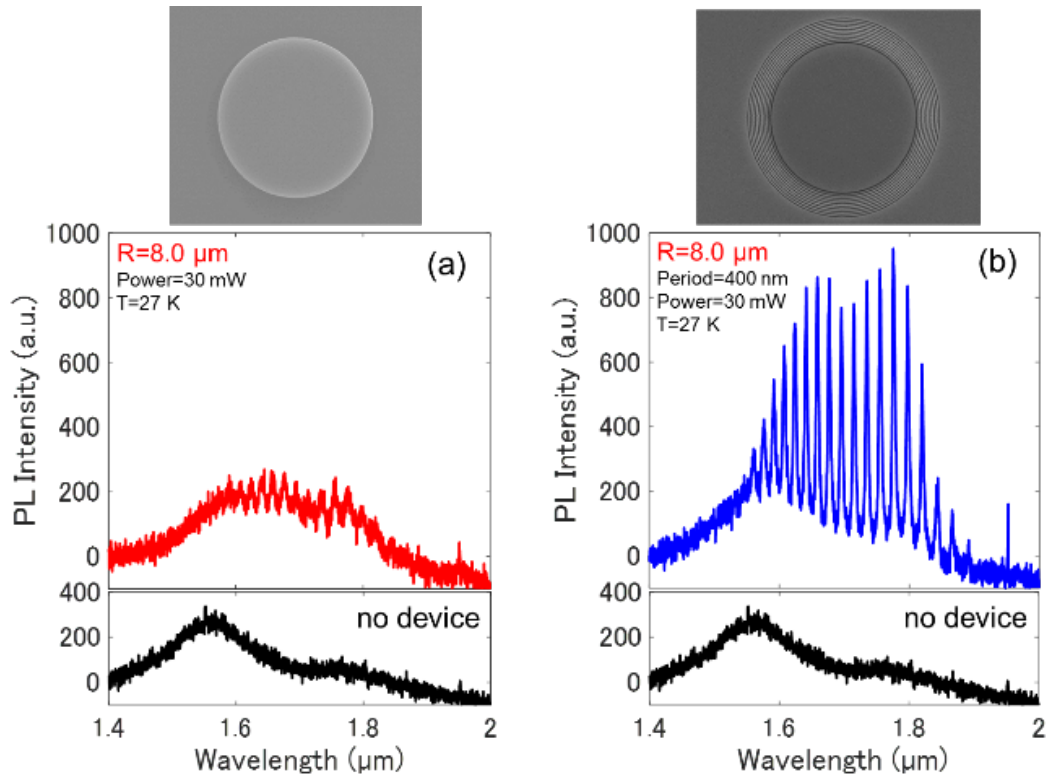


Fig. 8 PL spectra of (a) normal microdisk and (b) microdisk with CBGs

CBGsの有無にかかわらず、周期的なFP共振ピークの観測が確認できた。CGBsの形成により、バンドギャップ付近から約1.9 μmまでの波長域で、高コントラストなFP共振ピークの観測に成功した。さらに、1.6 μm付近のQ値はマイクロディスクの場合は約130、CGBsの形成により370と約2倍の増大も観測された。これは、従来のマイクロディスクの端面Ge/空気、またはGe/SiO₂よりも反射率が增大していることに起因する。これは、Ge発光デバイス実現に向けて、より有望な構造であると示唆された。

次に、ALDを用いてAl₂O₃を堆積したマイクロディスクの光学特性評価をFig. 9に示す。

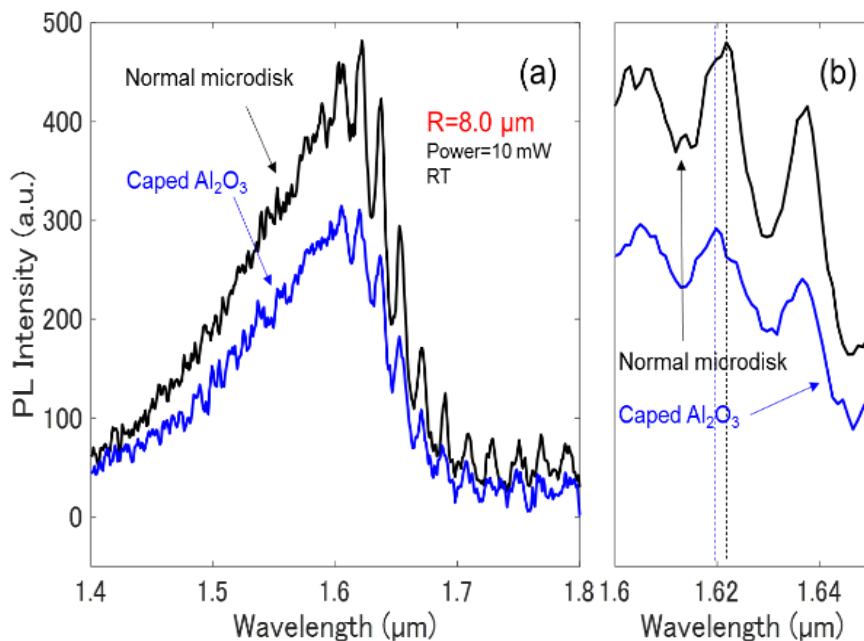


Fig. 9 PL spectra of
 (a) microdisks with and w/o capped Al₂O₃
 (b) Zoomed view around wavelength 1.62 μm

Al₂O₃の堆積により、波長約1.62 μm付近の共振ピークでブルーシフトが生じた。これは、屈折率の増加によるキャリア濃度の増大である事が考えられる。ALDは低温プロセスであるため、ドーピング後の表面保護という観点では、従来の熱酸化を用いる場合よりも、有利であると考えられる。

4. まとめ

本研究では、円形Geメサ型構造にCGBsを形成することによる、高コントラスト・高Q値のFP共振ピークの観測を行った。

Si(100)基板上にGeをエピタキシャル成長させることで引っ張り歪みの導入を確認した。貼り合わせ法によりGOI構造を作製することで欠陥層を除去でき非発光再結合を効果的に抑制することができ発光強度の増大を確認した。

マイクロディスクにCGBsを形成することで、従来のマイクロディスクの端面Ge/空気、またはGe/SiO₂よりも反射率の増大が光学評価から示唆された。

References

- [1] J. Liu et al, *Semicond. Sci. Technol.* **27**, 094006 (2012).
- [2] P. Boucaud et al, *Photo. Res.* **1**, 102 (2013).
- [3] J. Liu et al, *Opt. Express.* **15**, 11272 (2007).
- [4] X. Sun et al, *Appl. Phys. Lett.* **95**, 011911 (2009).
- [5] M. El Kurdi et al, *Appl. Phys. Lett.* **94**, 191107 (2009).
- [6] W. Hu et al, *Appl. Phys. Lett.* **95**, 092102 (2009).
- [7] A. Ghrib et al, *Appl. Phys. Lett.* **102**, 221112 (2014).
- [8] R. W. Millar et al, *Opt. Express.* **24**, 4365 (2016).
- [9] Yusuke. Hoshi et al, *Appl. Phys. Express.* **5**, 015701 (2012).
- [10] Akitoshi. Ishizaka et al, *Electrochemical. Society.* **133**, 666-671 (1986).

テーマ2 「ナノ多孔層ガラス基板を利用した Ge ナノドットの作製」

【はじめに】

ガラス基板を溶液処理するだけで、ガラス表面から階層的にサイズが変化するナノ多孔層（HNL: Hierarchical Nanoporous Layer）を非常に容易に形成可能であることが示されている[1]。本研究では、このナノ多孔層を半導体ナノ構造の形成に利用することを試み、HNL ガラス上に Ge 膜を堆積しその結晶化と発光特性を調べた。

【研究方法と成果】

作製した試料構造を Fig.1 に示す。ソーダ石灰ガラスを NaHCO_3 溶液に浸漬し、加熱することでガラス表面に HNL を形成した。その後、真空チャンバーにて室温で Ge を 50 nm 分子線蒸着堆積させた。堆積後、Ar 雰囲気中で 600°C 、1 分間の熱処理を施した。

Fig.2 に作製した試料の断面 SEM 像を示す。ガラス表面近傍に HNL が形成されており、その影響を受け Ge がドット状に形成されていることが分かる。熱処理前後の PL 測定の結果を Fig.3 に示す。比較のため HNL を形成していないガラス上に Ge 膜を形成した試料の結果も示す。HNL を有する試料では熱処理により発光が起きていることが分かる。一方 HNL のない試料では発光が見られない。以上の結果から、熱処理により、HNL 内に Ge が拡散し、ナノ構造となって発光に寄与していることが示唆される。

【参考文献】 [1] T. Fujima et al., Langmuir 30, 14494 (2014)

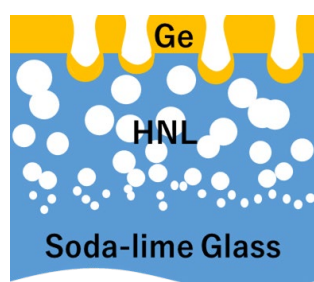


Fig.2 Ge nano dots on HNL glass substrate

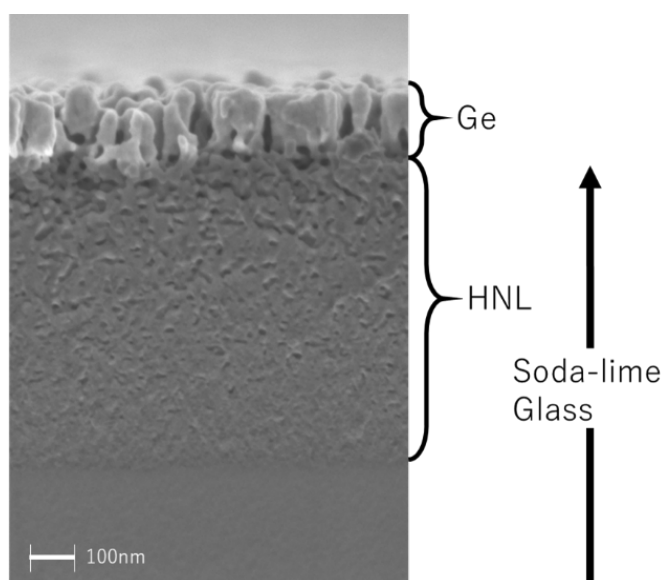


Fig.1 SEM image of Ge on HNL glass substrate after annealing

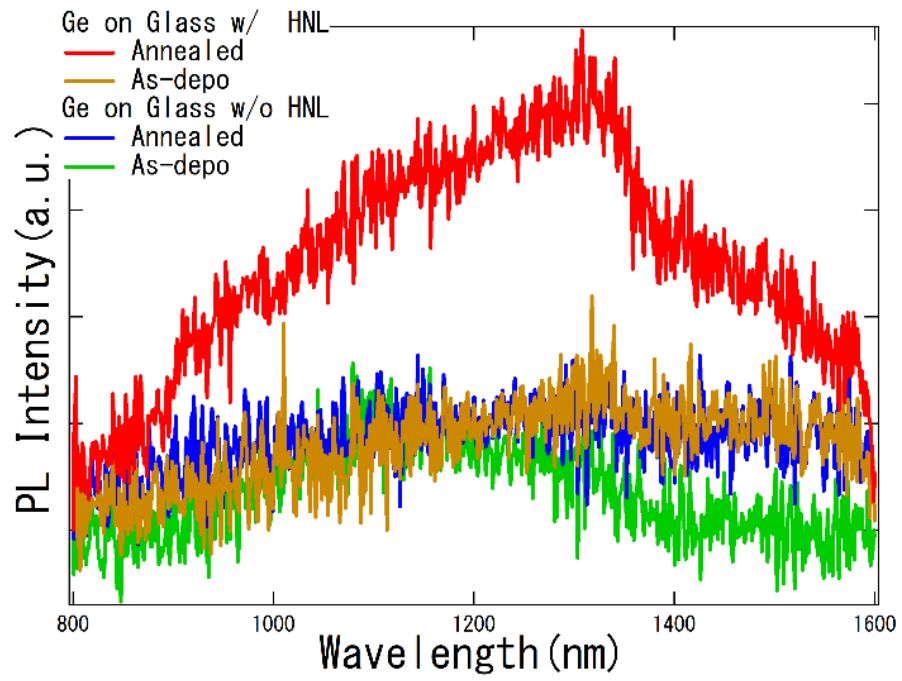


Fig.3 PL spectra of Ge on glass with and without HNL before and after annealing

テーマ2 「ウェットエッチングによる歪み Ge マイクロブリッジの作製」

【はじめに】

Si 上モノリシック光電子集積回路 (OEIC) 実現のために、Ge が注目されている。Si 基板上に成長させた Ge (Ge-on-Si) は、熱膨張率差によって Ge 層内に引っ張り歪みが導入され、疑似的に直接遷移型半導体に近づくことで発光効率が增大する。さらに、Ge 層を浮遊させたマイクロブリッジ構造にすることで、より高い引っ張り歪みの導入が可能である[1]。本研究では、簡便な選択ウェットエッチングにより、歪み Ge マイクロブリッジ構造を作製し、歪み状態、発光特性の評価を行った。

【研究方法と成果】

固体ソース MBE を用いて、Si(100)基板上に Ge を低温 (350°C、40 nm)、高温 (600°C、500 nm) の 2 段階で結晶成長させる。その後、フォトリソグラフィとフッ硝酸によるウェットエッチングによって Ge-on-Si にブリッジパターンを形成する。そして KOH で Si 層の選択エッチングを行うことにより、Ge ブリッジ部の下部の Si が完全にエッチングされ、Ge が浮遊したマイクロブリッジ構造となる。

Fig. 1 に作製した Ge マイクロブリッジの SEM 像を示す。完全に浮遊し、かつ歪曲のないブリッジ構造が形成されていることが分かる。ブリッジ作製前後のラマンスペクトルを Fig. 2 に示す。ブリッジ構造とすることで大きくピークシフトしており、Ge 層を浮遊させることにより、引っ張り歪みが增大していることを示す。Ge マイクロブリッジの歪み率は 0.67 % と算出された。Fig. 3 に室温での PL スペクトルを示す。Ge-on-Si と比較して、Ge マイクロブリッジから約 12 倍の発光強度が得られた。これは、浮遊ブリッジ構造による Ge 内光閉じ込め効果と、歪み増大に起因すると考えられる。また、発光ピーク値は 123 nm レ

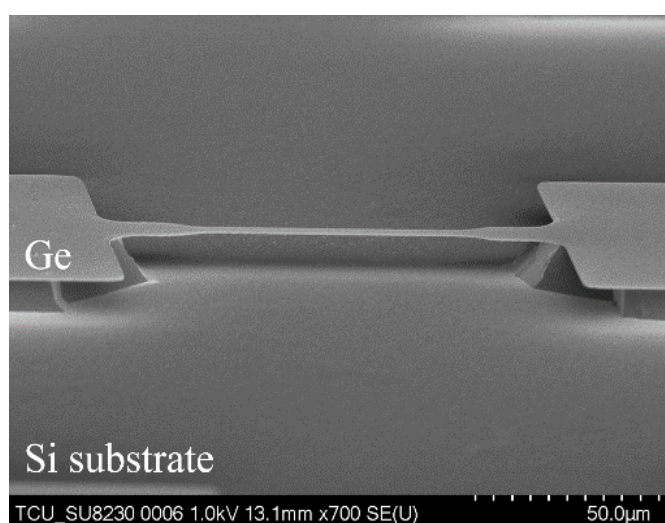


Fig.1 SEM image of the fabricated Ge micro bridge

ッドシフトしており、歪み率増大によるバンド構造変化に対応している。以上の結果より、簡便なウェットエッチングプロセスで非常に高い発光効率を持つ Ge マイクロブリッジが作製可能であることが示された。

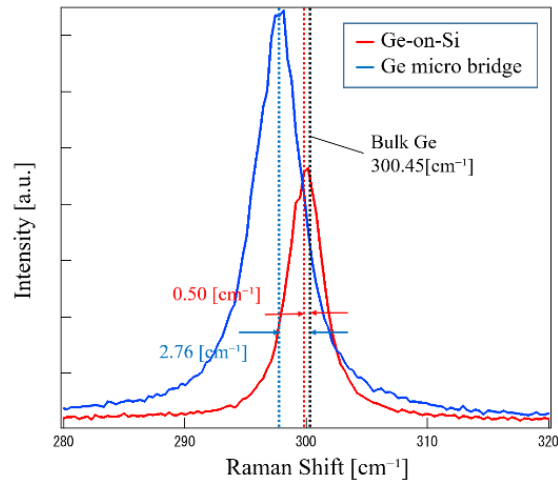


Fig.2 Raman spectra of Ge micro bridge and Ge-on-Si structures

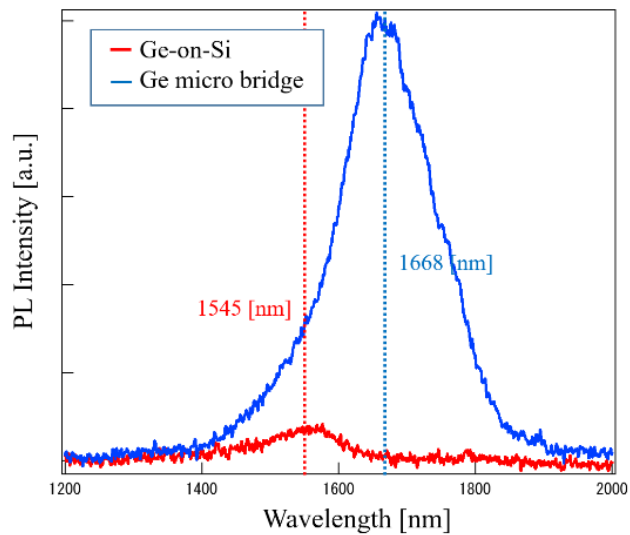


Fig.3 Room temperature PL spectra of Ge micro bridge and Ge-on-Si structures

テーマ2 「Ge 量子ドットを有する円形 DBR 微小共振器構造の発光特性」

【はじめに】

近年、オンチップ光配線の実現に向けてシリコンフォトニクスへの期待が高まっており、Si 基板上的高効率発光デバイスの実現が求められている。これまでに、Si 上の自己形成 Ge 量子ドットが、通信波長帯での有望な発光構造として研究されてきている。最近我々は、Ge/Si の量子ドット界面に P を δ ドーピングする事により電子の閉じ込め効果が向上され発光強度の改善する事を報告した[1]。本研究では、これら n ドープ Ge 量子ドット構造に、円形 Distributed Bragg Reflector (DBR) やマイクロディスク (MD) 微小共振器構造を形成し発光デバイスを作製した。

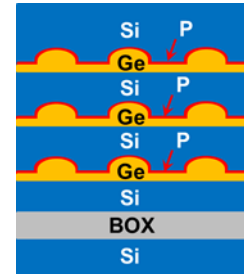


Fig. 4 Ge QDs with P δ -doping

【研究方法と成果】

作製した試料構造を Fig.1 に示す。SOI 基板上に固体ソース MBE を用いて、Ge ドット層 (600°C, 1.68nm) を成長させ、P を δ ドーピングしたのち、Si spacer 層 (500°C, 30nm) を成長させた。以上の工程を繰り返し、3 層の Ge ドット積層構造を形成した。その後、電子線描画とドライエッチングにより円形 DBR、MD 構造を作製した。半径 1 μ m の MD、中心半径 1 μ m、周期 400nm の DBR 構造の SEM 像を Fig. 2 に示す。

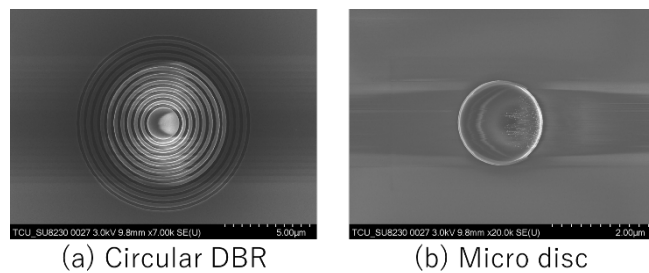


Fig. 2 SEM images of Ge QDs CDBR and MD

これらの室温での PL スペクトルを Fig. 3 に示す。DBR 構造から、通信波長帯の 1550nm 付近で鋭い共振ピークが確認できた。波長 1530nm のピークの Q 値は 1215 となった。MD に比較し、DBR によって反射率が向上していることが考えられる。各ピークの発光強度は、As-grown に対して MD では 2 倍程度、DBR では 4 倍ほどの発光増大が得られた。

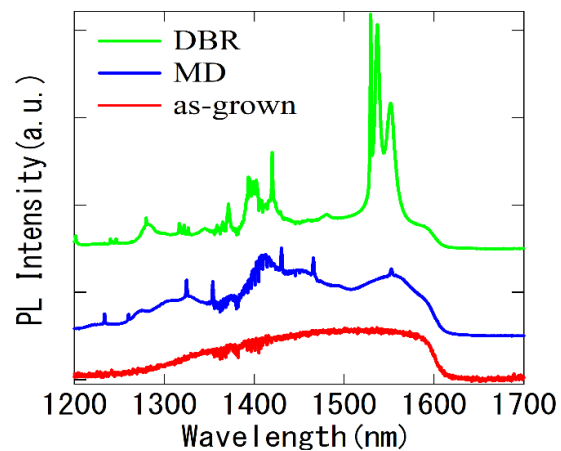


Fig. 3 Room temperature PL spectra

テーマ2「アモルファス Si を用いた表面不活性化 GOI からの発光増大」

【はじめに】

これまで示してきたように、GOIやマイクロブリッジを作製することで、歪み率は増大し発光強度も増大した。しかし、これらのいずれのデバイスでも基板表面にはダングリングボンドが存在し、それらの表面準位はLasing閾値の増加の原因となる。表面再結合や散乱による損失の低減のために、熱酸化による表面不活性化は以前から行われてきた。しかし、これらの報告はMOSFETのための電気的特性評価がほとんどである。本研究では、表面・側面での欠陥や表面準位の抑制のために、プラズマCVDを用いたa-Siの堆積による表面不活性化について調べた。

【研究手法と成果】

プラズマCVDを用いてアモルファスSiパッシベーション膜を以下のプロセスで堆積した。

1. GOSおよびGOIの作製後、表面の不純物除去のために、以下の洗浄を行った。

- ・超純水洗浄3分
- ・アセトン、メタノール各3分超音波洗浄
- ・超純水洗浄3分
- ・アンモニア3分超音波洗浄
- ・超純水洗浄3分
- ・HF:H₂O=1:50=10ml:500ml20秒ディップ(表面自然酸化膜除去)

2. プラズマCVDを用いてa-Siを堆積した。成膜条件は以下のとおりである。

成膜条件：

i-a-Si:Hの場合、SiH₄ : H₂=10 : 50sccm,、60Pa、30W

p-a-Si:Hの場合、SiH₄ : H₂ : B₂H₆/H₂=2 : 340 : 1 sccm、90Pa、30W

n-a-Si:Hの場合、SiH₄ : H₂ : PH₃/H₂=2 : 340 : 5 sccm、60Pa、20W

基板温度： T=260°C、堆積膜厚：25nm

図1にGOSに真性、p型、n型それぞれのa-Si:H膜を堆積させた後のPL測定の結果を示す。n型、真性、p型の順で発光強度が増大した。これは、電界効果パッシベーションによるものである。p-a-Siを堆積させた場合、p-a-Si膜内ではアクセプタが活性化して正孔を生成しアクセプタはイオン化して負の固定電荷となる。こうして電界効果パッシベーションが働き、表面再結合を抑えることができる。図2にGOIにp型、n型のa-Siを堆積させた場合のPLスペクトルを示す。図2(a)よりGOIを作製したことにより、GOSに比べて約5倍の発光強度を示しているが、p-a-Si膜を堆積することで、さらに約3倍の発光強度を示し、もとのGOSに比べ約15倍の発光強度を示した。一方で、図2(b)より、n-

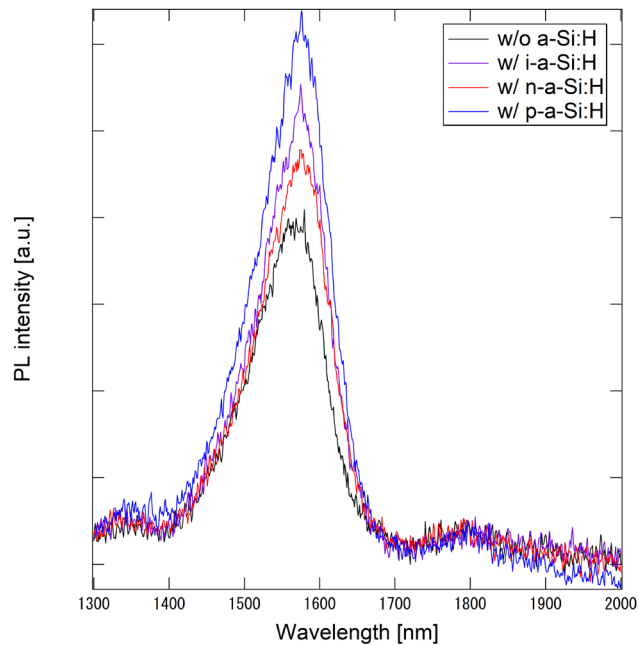


図 1 パッシベーションした GOS の PL スペクトル

a-Si 膜を堆積した場合、GOI を作製したことで改善した発光強度が逆に半分以下まで低下してしまっただ。これらの主な原因は電界効果パッシベーションであるとする。この検討のため、PC1D を使用したバンド構造のシミュレーションを行った。図 3 に p 型、n 型の a-Si を Ge 上に堆積させた場合のバンド構造の概形を示す。Ge のバンドギャップは直接バンドギャップの最も大きな値を引用した。Ge はドーピングしていないため欠陥によるキャリア濃度をホール測定により測定した。図 3(a) では p-a-Si/Ge 界面において価電子帯が内側方向へのバンドベンディングしている。これにより、p-a-Si/Ge 界面付近の伝導電子がバンドベンディングにより Ge バルク内に拡散するため、表面での電子の非発光再結合を防ぐことができ、発光強度が増大した。一方で、図 3(b) では価電子帯が外側方向へバンドベンディングしているためキャリアが表面に拡散し、発光強度の低下を招いたと考えられる。

以上の結果より、アモルファス Si 堆積によって電界効果パッシベーションによって大幅に発光強度増大が得られることが示され、この技術が Ge 発光デバイス応用へ必須技術と言える。

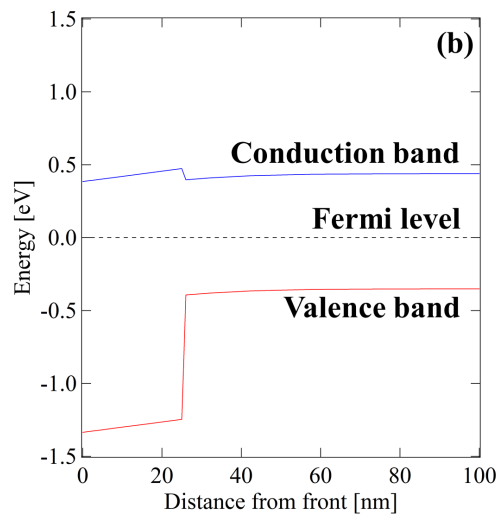
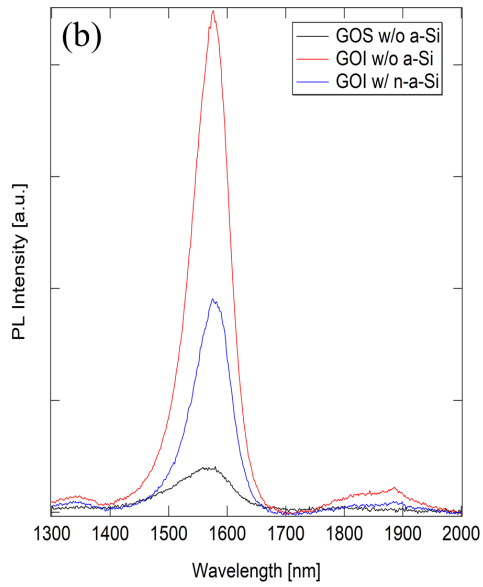
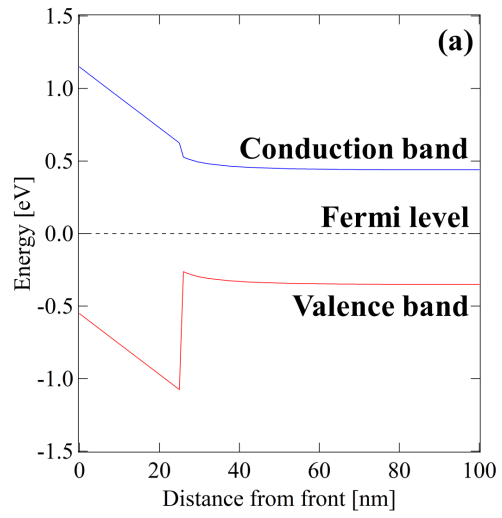
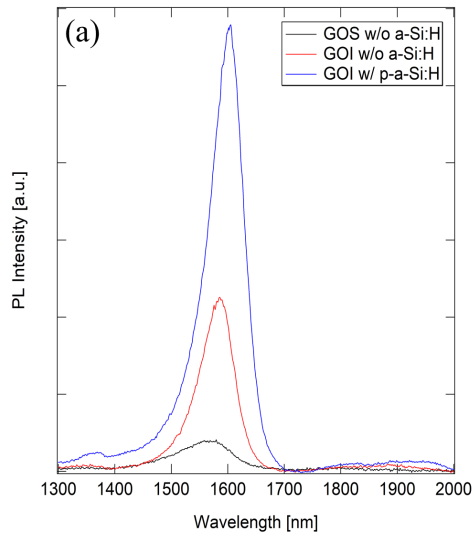


図2 パッシベーションしたGOIのPLスペクトル(a)p-a-Si、(b)n-a-Si

図3 Ge上に堆積させたa-Siのバンド構造(a)p-a-Si、(b)n-a-Si

テーマ2 「Ge-on-Si メサ型 LED デバイスの作製と EL 発光観察」

これまでにGe-on-Si (GOS)やGe-on-Insulator (GOI)構造で非常に高い発光強度を得ることに成功し、レーザー化のために電流注入発光を得ることが長い間の課題となっていた。しかしながら、Geは接合リークが非常に大きく、良好なダイオード特性を得ることが非常に困難であり、ダイオード発光すら容易に得ることができなかった。本プロジェクトでは、Ge中へのMBEによるドーピング技術開発を着実に進め、非常に制御性を高めることに成功している。その集大成として、Si上のGe結晶成長中に、良好なpin構造の形成を試みた。特に欠陥の多いSi界面付近の低温Ge層からi層を離す構造を取った。また、表面のコンタクト形成も重要である。コンタクトでショットキー接触となってしまうと、ダイオード接合部まで十分なキャリアの注入ができなくなる。そこで、これまでの知見を活かし、デルタドーピング技術によって、非常に高濃度なn型Geを表面近傍に形成し、金属との良好なオーミック接触を得た。その後、メサ構造を形成し、EL発光特性を観察した。比較的小さなメサ構造とすることで、接合のリークパスを減らすことができ、非常にオンオフ比の高いダイオード特性を得ることに成功した。

ドーパントであるボロンとリンのSIMSプロファイルを図1(a)に示す。非常に高濃度で均一なドーピングができていることが分かる。ドーパントの偏析は十分に抑制し、i層も形成できている。IV特性(図1(b))からオン・オフ比は 1.0×10^5 となった。注入電流密度 5.5 kA/cm^2 でELスペクトルが現れ、その後は電流密度と共に増大している。EL発光の閾値はおよそ 7.0 kA/cm^2 程度と見積もられた。以上の結果より、Ge-on-Siの高品質結晶成長技術とドーピング制御、メサ型ダイオード構造によって低閾値のGeレーザーの実現が期待できる。

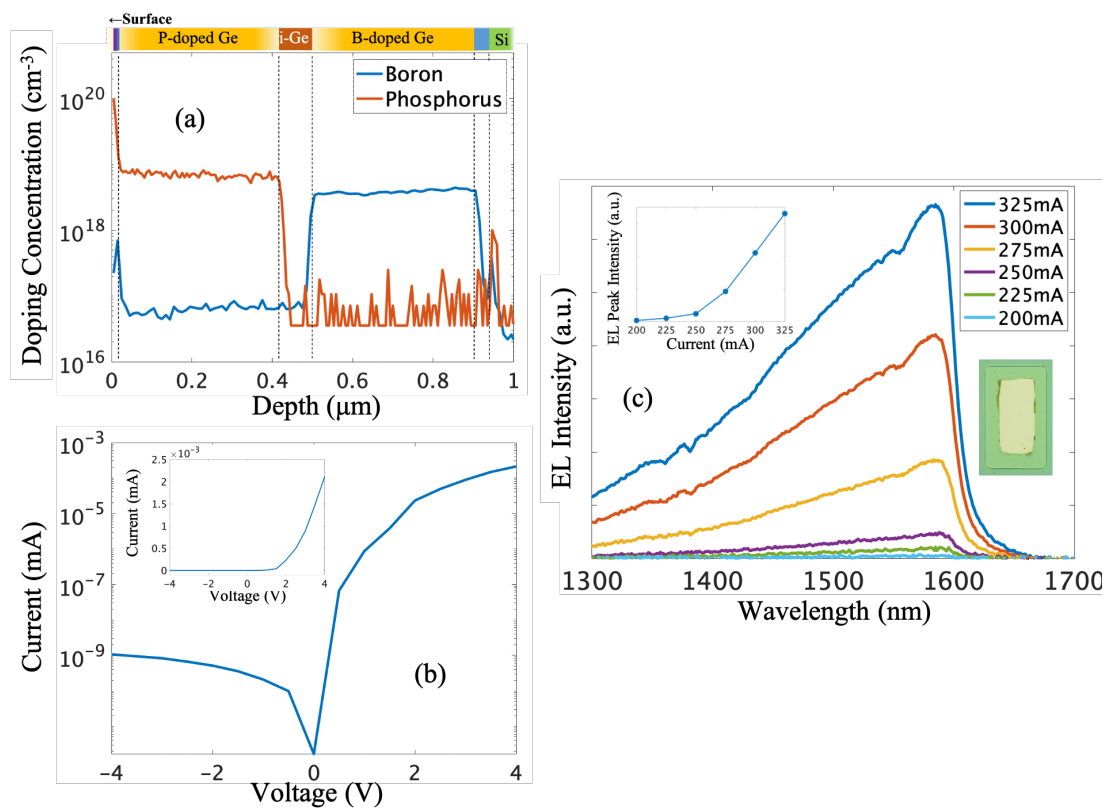


Fig. 1. (a) SIMS depth profile of Boron and Phosphorus in Ge epilayer, (b) Current-voltage characteristics of EL device, (c) Room temperature EL spectra at different continuous injection current densities.

1.3 研究発表の状況（研究論文等公表状況。印刷中も含む。）

上記、1.1(4)に記載した研究成果に対応するものには*を付すこと。

<雑誌論文>

【審査有り学術論文 テーマ1】

(1) “Suppression of surface segregation of the phosphorous δ -doping layer by insertion of an ultra-thin silicon layer for ultra-shallow Ohmic contacts on n-type germanium”

Michihiro Yamada, Kentarou Sawano, Masashi Uematsu and Kohei M. Itoh
Appl. Phys. Lett. 107, 132101 (2015) DOI: 10.1063/1.4931939

(2) “Effect of atomic-arrangement matching on La2O3/Ge heterostructures for epitaxial high-k-gate-stacks”

T. Kanashima, H. Nohira, M. Zenitaka, Y. Kajihara, S. Yamada, and K. Hamaya
Journal of Applied Physics 118, 2253021 (2015).

(* 1 7) (3) “Structural and electrical properties of Ge(111) films grown on Si(111) substrates and application to Ge(111)-on-Insulator”

K. Sawano, Y. Hoshi, S. Kubo, K. Arimoto, J. Yamanaka, K. Nakagawa, K. Hamaya, M. Miyao, Y. Shiraki
Thin Solid Films 613, 24-28 (2016). doi:10.1016/j.tsf.2015.11.020

(* 1 2) (4) “Straining of Group IV Semiconductor Materials for Bandgap and Mobility Engineering”

Kentarou Sawano, Xuejun Xu, Shiori Konoshima, Nayuta Shitara, Takeshi Ohno, and Takuya Maruizumi
ECS transaction 75, 191-197 (2016) doi: 10.1149/07504.0191ecst

(5) “Anisotropic Strain Introduction into Si/Ge Hetero Structures”

Kentarou Sawano, Shiori Konoshima, Junji Yamanaka, Keisuke Arimoto, and Kiyokazu Nakagawa
ECS transaction 75, 563-569 (2016) doi: 10.1149/07508.0563ecst

(6) “Compressively strained Si/Si_{1-x}C_x heterostructures formed on Ar ion implanted Si(100) substrates”

Yusuke Hoshi, You Arisawa, Keisuke Arimoto, Junji Yamanaka, Kiyokazu Nakagawa, Kentarou Sawano, and Noritaka Usami
Japanese Journal of Applied Physics 55, 031302 (2016). DOI: 10.7567/JJAP.55.031302

(7) “Suppression of segregation of the phosphorus δ -doping layer in germanium by incorporation of carbon”

Michihiro Yamada, Kentarou Sawano, Masashi Uematsu, Yasuo Shimizu, Koji Inoue, Yasuyoshi Nagai, and Kohei M. Itoh
Japanese Journal of Applied Physics 55, 031304-1~5 (2016). DOI: 10.7567/JJAP.55.031304

(8) “Impact of silicon quantum dot super lattice and quantum well structure as intermediate layer on p-i-n silicon solar cells”

Mohammad Maksudur Rahman, Ming-Yi Lee, Yi-Chia Tsai, Akio Higo, Halubai Sekhar, Makoto Igarashi, Mohd Erman Syazwan, Yusuke Hoshi, Kentarou Sawano, Noritaka Usami, Yiming Li and Seiji Samukawa

Progress in Photovoltaics: Research and Applications 24, 774-780 (2016). DOI : 10.1002/pip.2726

(9) “A low-temperature fabricated gate-stack structure for Ge-based MOSFET with ferromagnetic epitaxial Heusler-alloy/Ge electrodes”

Yuichi Fujita, Michihiro Yamada, Yuta Nagatomi, Keisuke Yamamoto, Shinya Yamada, Kentarou Sawano, Takeshi Kanashima, Hiroshi Nakashima, and Kohei Hamaya
Japanese Journal of Applied Physics 55, 063001-1~4 (2016).
DOI:10.7567/JJAP.55.063001

(10) “Temperature-independent spin relaxation in heavily doped *n*-type germanium”

Y. Fujita, M. Yamada, S. Yamada, T. Kanashima, K. Sawano, and K. Hamaya
Physical Review B 94, 245302-1~5 (2016) DOI: 10.1103/PhysRevB.94.245302

(11) “Thermal conduction in Si and SiGe phononic crystals explained by phonon mean free path spectrum”

Masahiro Nomura, Junki Nakagawa, Kentarou Sawano, Jeremie Maire, and Sebastian Volz
Applied Physics Letters 109, 173104-1~4 (2016) doi: 10.1063/1.4966190

(12) “Angle-resolved photoelectron spectroscopy study of initial stage of thermal oxidation on 4HSiC(0001)”

Hitoshi Arai and Hiroshi Nohira
Japanese Journal of Applied Physics 55, 04EB04 (2016).

(* 1 1) (13) “Light emission enhancement from Ge quantum dots with phosphorous δ -doped neighboring confinement structures”

K. Sawano, T. Nakama, K. Mizutani, N. Harada, X. Xu, T. Maruizumi
Journal of Crystal Growth 477, 131–134 (2017) DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2017.03.008

(14) “Hole mobility in strained Si/SiGe/vicinal Si(110) grown by gas source MBE”

Keisuke Arimoto, Sosuke Yagi, Junji Yamanaka, Kosuke O. Hara, Kentarou Sawano, Noritaka Usami, Kiyokazu Nakagawa
Journal of Crystal Growth 468, 625-629 (2017) DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2016.12.076

(15) “TEM Observation of Si_{0.99}C_{0.01} Thin Films with Arsenic-Ion-, Boron-Ion-, and Silicon-Ion-Implantation Followed by Rapid Thermal Annealing”

Junji Yamanaka, Shigenori Inoue, Keisuke Arimoto, Kiyokazu Nakagawa, Kentarou Sawano, Yasuhiro Shiraki, Atsushi Moriya, Yasuhiro Inokuchi, Yasuo Kunii
Journal of Materials Science and Chemical Engineering, 2017, 5, 15-25 DOI: 10.4236/msce.2017.51003

(16) “Large impact of impurity concentration on spin transport in degenerate *n*-Ge”

M. Yamada, Y. Fujita, M. Tsukahara, S. Yamada, K. Sawano, and K. Hamaya
Physical Review B 95, 161304 (R) 1~5 (2017) DOI: 10.1103/PhysRevB.95.161304

(17) “Thermoelectric Properties of Epitaxial b-FeSi₂ Thin Films on Si(111) and Approach for Their Enhancement”

Tatsuhiko Taniguchi, Shunya Sakane, Shunsuke Aoki, Ryo Okuhata, Takafumi Ishibe, Kentaro Watanabe, Takeyuki Suzuki, Takeshi Fujita, Kentarou Sawano, and Yoshiaki Nakamura
Journal of Electronic Materials, Vol. 46, No. 5, 3235-3241 (2017) DOI: 10.1007/s11664-016-4997-0

(18) “Study on ion implantation conditions in fabricating compressively strained Si/relaxed

Si_{1-x}C_x heterostructures using the defect control by ion implantation technique”
You Arisawa, Kentarou Sawano, Noritaka Usami
Journal of Crystal Growth 468, 601-604 (2017). DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2016.12.065

(19) “Thermal stability of compressively strained Si/relaxed Si_{1-x}C_x heterostructures formed on Ar ion implanted Si (100) substrates”

You Arisawa, Yusuke Hoshi, Kentarou Sawano, Junji Yamanaka, Keisuke Arimoto, Chiaya Yamamoto, Noritaka Usami
Materials Science in Semiconductor Processing 70, 127-132 (2017) DOI:
10.1016/j.mssp.2016.11.024

(20) “Pattern-dependent anisotropic stress evaluation in SiGe epitaxially grown on a Si substrate with selective Ar⁺ ion implantation using oil-immersion Raman spectroscopy”

Shotaro Yamamoto, Daisuke Kosemura, Kazuma Takeuchi, Seiya Ishihara, Kentarou Sawano, Hiroshi Nohira and Atsushi Ogura
Japanese Journal of Applied Physics 56, 051301 (2017) DOI: /10.7567/JJAP.56.051301

(21) “Spin Transport and Relaxation up to 250 K in Heavily Doped n-Type Ge Detected Using Co₂FeAl_{0.5}Si_{0.5} Electrodes”

Y. Fujita, M. Yamada, M. Tsukahara, T. Oka, S. Yamada, T. Kanashima, K. Sawano, and K. Hamaya
Physical Review Applied 8, 014007 (2017) DOI: 10.1103/PhysRevApplied.8.014007

(22) “Room-temperature spin transport in n-Ge probed by four-terminal nonlocal measurements”

Michihiro Yamada, Makoto Tsukahara, Yuichi Fujita, Takahiro Naito, Shinya Yamada, Kentarou Sawano, and Kohei Hamaya
Applied Physics Express 10, 093001 (2017) DOI: /10.7567/APEX.10.093001

(23) “Control of electrical properties in Heusler-alloy/Ge Schottky tunnel contacts by using phosphorous δ -doping with Si-layer insertion”

Michihiro Yamada, Yuichi Fujita, Shinya Yamada, Takeshi Kanashima, Kentarou Sawano, Kohei Hamaya
Materials Science in Semiconductor Processing 70, 83–85 (2017) DOI:
/10.1016/j.mssp.2016.07.025

(* 2) (24) “Fabrication of high-quality strain relaxed SiGe(1 1 0) films by controlling defects via ion implantation”

M. Kato, K. Arimoto, J. Yamanaka, K. Nakagawa, K. Sawano
Journal of Crystal Growth 477, 197–200 (2017). DOI: /10.1016/j.jcrysgro.2017.05.022

(25) “Improving the barrier ability of Ti in Cu through-silicon vias through vacuum annealing ”

Murugesan Mariappan, JiChel Bea, Takafumi Fukushima, Eiji Ikenaga, Hiroshi Nohira, and Mitsumasa Koyanagi
Japanese Journal of Applied Physics 56, 04CC08 (2017).

(26) “Angle-Resolved Photoelectron Spectroscopy Studies of Initial Stage of Thermal Oxidation on 4H-SiC (0001) on-Axis and 4° Off-Axis Substrates”

Hitoshi Arai, Ryoma Toyoda, Ai Ishohashi, Yasuhisa Sano, Hiroshi Nohira
ECS Transactions 77, 51-57 (2017).

(27) “Electrical properties of epitaxial Lu- or Y-doped La₂O₃/La₂O₃/Ge high-k gate-stacks”
T. Kanashima, R. Yamashiro, M. Zenitaka, K. Yamamoto, D. Wang, J. Tadano, S. Yamada, H.

Nohira, H. Nakashima, K. Hamaya

Materials Science in Semiconductor Processing 70, 260–264 (2017).

(28) “New Diagnostic Method of Electrical Insulation Properties based on Current Integration, IEEE Transactions on ”

Tatsuo Takada, Toshiyuki Fujitomi, Takuma Mori, Tomoyuki Iwata, Taiki Ono, Hiroaki Miyake, Yasuhiro Tanaka

Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 24, Issue 4, pp. 2549-2558 (2017)

(29) “Charge Distribution in Polymethyl Methacrylate and Quartz Glass Irradiated by Protons”

Hiroaki Miyake, Yasuhiro Tanaka

Sensors and Materials, Vol. 29, No. 8, pp.1213-1222 (2017)

(30) “Packet-like charge formation in cable insulating materials at polarity reversal ”

Yasuhiro Tanaka, Toshiyuki Fujitomi, Tsuyoshi Kato, Hiroaki Miyake, Hiroki Mori, Saki Kikuchi, Yukihiko Yagi

IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 24, No. 3, pp. 1372-1379 (2017)

(31) “Noise Coupled Δ AD Modulator Using Passive Adder Embedded Noise Shaping SAR Quantizer”

C. Pan and H. San

IEICE Trans on Electronics, Vol.E101-C, No.7, July, 2018.(Accepted)

(32) “AD Modulator using Dynamic Analog Components with Simplified Operation Phase”

C. Pan and H. San

IEICE Trans on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol.E101-A, No.2, pp.425-433, February, 2018.

(33) “12-bit 1.25MS/s Area-efficient Radix-value Self-estimated Non-binary Cyclic ADC with Relaxed Requirements on Analog Components ”

H. San, R. Sugawara, M. Hotta, T. Matsuura and K. Aihara

IEICE Trans on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol.E100-A, pp.534 (2017).

(34) “Hole generation associated with intrinsic defects in SOI-based SiGe thin films formed by solid-source molecular beam epitaxy”

Motoki Satoh, Keisuke Arimoto, Junji Yamanaka, Kentarou Sawano, Yasuhiro Shiraki, and Kiyokazu Nakagawa

Journal of Applied Physics 123, 161529 (2018). DOI: /10.1063/1.5004077

(35) “Spin Absorption Effect at Ferromagnet/Ge Schottky-Tunnel Contacts”

Michihiro Yamada, Yuichi Fujita, Shinya Yamada, Kentarou Sawano and Kohei Hamaya
Materials 11, 150 (2018). DOI: /10.3390/ma11010150

(36) “Growth and characterization of low composition Ge, x in epi-Si_{1-x}Ge_x (x ≤ 10 %) active layer for fabrication of hydrogenated bottom solar cell. ”

M. Ajmal Khan, R. Sato, K. Sawano, P. Sichanugrist, A. Lukyanov and Y. Ishikawa

Journal of Physics D: Applied Physics 51, 185107 (11 pp) (2018). DOI: /10.1088/1361-6463/aab80d

(37) “Formation of uniaxial strained Ge via control of dislocation alignment in Si/Ge heterostructures”

- Shiori Konoshima, Eisuke Yonekura, Keisuke Arimoto, Junji Yamanaka, Kiyokazu Nakagawa, and Kentarou Sawano
AIP Advances 8, 075112 (9 pages) (2018). DOI: /10.1063/1.5011397
- (38) “Pure spin current transport in a SiGe alloy”
Takahiro Naito, Michihiro Yamada, Makoto Tsukahara, Shinya Yamada, Kentarou Sawano, and Kohei Hamaya
Applied Physics Express 11, 053006 (2018). DOI: /10.7567/APEX.11.053006
- (39) “Correlation between spin transport signal and Heusler/semiconductor interface quality in lateral spin-valve devices”
B. Kuerbanjiang, Y. Fujita, M. Yamada, S. Yamada, A. M. Sanchez, P. J. Hasnip, A. Ghasemi, D. Kepaptsoglou, G. Bell, K. Sawano, K. Hamaya, and V. K. Lazarov
Phys. Rev. B **98**, 115304 (2018). DOI: /10.1103/PhysRevB.98.115304
- (40) “Spin transport and relaxation in germanium”
Kohei Hamaya, Yuichi Fujita, Michihiro Yamada, Makoto Kawano, Shinya Yamada and Kentarou Sawano
Journal of Physics D: Applied Physics 51, 393001 (2018) /10.1088/1361-6463/aad542
- (41) “Structural properties of compressive strained Ge channels fabricated on Si (111) and Si (100)”
Md. Mahfuz Alam, Yusuke Hoshi and Kentarou Sawano
Semiconductor Science and Technology 33, 124008 (6pp) (2018) DOI:/10.1088/1361-6641/aae575
- (42) “Stability of strain in Si layers formed on SiGe/Si(110) heterostructures”
Keisuke Arimoto, Atsushi Onogawa, Shingo Saito, Takane Yamada, Kei Sato, Naoto Utsuyama, Yuichi Sano, Daisuke Izumi, Junji Yamanaka, Kosuke O Hara, Kentarou Sawano and Kiyokazu Nakagawa
Semiconductor Science and Technology 33, 124016 (8pp) (2018) DOI:/10.1088/1361-6641/aaeb10
- (* 4) (43) “Study on Al₂O₃/Ge interface formed by ALD directly on epitaxial Ge”
Eriko Shigesawa, Ryotaro Matsuoka, Masashi Fukumoto, Ryosuke Sano, Kohei M Itoh, Hiroshi Nohira and Kentarou Sawano
Semiconductor Science and Technology 33, 124020 (4pp) (2018) DOI:/10.1088/1361-6641/aaec51
- (44) “Observation of local magnetoresistance signals in a SiGe-based lateral spin-valve device”
Michihiro Yamada, Takahiro Naito, Makoto Tsukahara, Shinya Yamada, Kentarou Sawano and Kohei Hamaya
Semiconductor Science and Technology 33, 114009 (4pp) (2018) DOI:/10.1088/1361-6641/aae34f
- (45) “Fabrication of Ge MOS with low interface trap density by ALD of Al₂O₃ on epitaxially grown Ge”
Ryotaro Matsuoka, Eriko Shigesawa, Satoru Miyamoto, Kentarou Sawano and Kohei M Itoh
Semiconductor Science and Technology 34, 014004 (5pp) (2019) DOI:/10.1088/1361-6641/aaf19b
- (46) “Effect of strain on the binding energy of Ge 2p and 3d core level”
R. Sano, S. Konoshima, K. Sawano and H. Nohira

Semiconductor Science and Technology 34, 014006 (2019) DOI:/10.1088/1361-6641/aaf3ee

(47) “Thermoelectric power factor enhancement based on carrier transport physics in ultimately phonon-controlled Si nanostructures”

Shunya Sakane, Takafumi Ishibe, Tatsuhiko Taniguchi, Nobuyasu Naruse, Yutaka Mera, Takeshi Fujita, Md. Mahfuz Alam, Kentarou Sawano, Nobuya Mori, Yoshiaki Nakamura
Materials Today Energy 13, 56-63 (2019). DOI:/10.1016/j.mtener.2019.04.014

(* 7) (48) “Critical thickness of strained Si_{1-x}Ge_x on Ge(111) and Ge-on-Si(111)”

Md. Mahfuz Alam, Youya Wagatsuma, Kazuya Okada, Yusuke Hoshi, Michihiro Yamada, Kohei Hamaya, and Kentarou Sawano
Applied Physics Express 12, 081005 (2019) DOI: 10.7567/1882-0786/ab2db8

(49) “Nonmonotonic bias dependence of local spin accumulation signals in ferromagnet/semiconductor lateral spin-valve devices”

Y. Fujita, M. Yamada, M. Tsukahara, T. Naito, S. Yamada, K. Sawano, and K. Hamaya
Physical Review B 100, 024431 (2019). DOI: 10.1103/PhysRevB.100.024431

(50) “High thermoelectric performance in high crystallinity epitaxial Si films containing silicide nanodots with low thermal conductivity”

Shunya Sakane, Takafumi Ishibe, Takahiro Hinakawa, Nobuyasu Naruse, Yutaka Mera, Md. Mahfuz Alam, Kentarou Sawano, and Yoshiaki Nakamura
Appl. Phys. Lett. 115, 182104 (2019). DOI: 10.1063/1.5126910

(51) “Semiballistic thermal conduction in polycrystalline SiGe nanowires”

Noboru Okamoto, Ryoto Yanagisawa, Roman Anufriev, Md. Mahfuz Alam, Kentarou Sawano, Masashi Kurosawa, and Masahiro Nomura
Appl. Phys. Lett. 115, 253101 (2019). DOI: 10.1063/1.5130659

(52) “Nanostructural effect on thermoelectric properties in Si films containing iron silicide nanodots”

Shunya Sakane, Takafumi Ishibe, Tatsuhiko Taniguchi, Takahiro Hinakawa, Ryoya Hosoda, Kosei Mizuta, Md. Mahfuz Alam, Kentarou Sawano, and Yoshiaki Nakamura
Japanese Journal of Applied Physics 59, SFFB01 (2020) DOI: /10.7567/1347-4065/ab5b58

(53) “Hole mobility enhancement observed in (110)-oriented strained Si”

Keisuke Arimoto, Naoto Utsuyama, Shohei Mitsui, Kei Satoh, Takane Yamada, Junji Yamanaka, Kosuke O. Hara, Kentarou Sawano, and Kiyokazu Nakagawa
Japanese Journal of Applied Physics 59, SGGK06 (2020) DOI: /10.7567/1347-4065/ab6591

(54) “Hole mobility in Strained Si/Relaxed SiGe/Si(110) hetero structures studied by gated Hall measurements”

Daichi Namiuchi, Atsushi Onogawa, Taisuke Fujisawa, Yuichi Sano, Daisuke Izumi, Junji Yamanaka, Kosuke O. Hara, Kentarou Sawano, Kiyokazu Nakagawa, and Keisuke Arimoto
Materials Science in Semiconductor Processing 113, 105052 (2020) DOI: /10.1016/j.mssp.2020.105052

(55) "Inverse local magnetoresistance effect up to room temperature in ferromagnet-semiconductor lateral spin-valve devices"

Takahiro Naito, Michihiro Yamada, Shinya Yamada, Takeshi Kanashima, Kentarou Sawano and Kohei Hamaya

Materials Science in Semiconductor Processing 113, 105046 (2020) DOI:
/10.1016/j.mssp.2020.105046

(* 1 9) (56) “Crack formation in strained SiGe grown on Ge-on-Si(111) and its suppression by patterning substrates”

Youya Wagatsuma, Md. Mahfuz Alam, Kazuya Okada, Yusuke Hoshi, Michihiro Yamada, Kohei Hamaya and Kentarou Sawano

Materials Science in Semiconductor Processing, 117, 105153 (2020) DOI:
/10.1016/j.mssp.2020.105153

(57) "Large, tunable valley splitting and single-spin relaxation mechanisms in a Si/SixGe1-x quantum dot"

Arne Hollmann, Tom Struck, Veit Langrock, Andreas Schmidbauer, Floyd Schauer, Tim Leonhardt, Kentarou Sawano, Helge Riemann, Nikolay V. Abrosimov, Dominique Bougeard, and Lars R. Schreiber

Phys. Rev. Applied 13, 034068 (2020). DOI: /10.1103/PhysRevApplied.13.034068

(58) “Suppression of Donor-Driven Spin Relaxation in Strained Si0.1Ge0.9”

T. Naito, M. Yamada, S. Yamada, K. Sawano and K. Hamaya

Physical Review Applied 13, 054025 (2020). DOI: /10.1103/PhysRevApplied.13.054025

【審査有り学術論文 テーマ2】

(1)“Ultralarge transient optical gain from tensile-strained, n-doped germanium on silicon by spin-on dopant diffusion”

Xuejun Xu, Xiaoxin Wang, Keisuke Nishida, Koki Takabayashi, Kentarou Sawano, Yasuhiro Shiraki, Haofeng Li, Jifeng Liu, and Takuya Maruizumi

Applied Physics Express 8, 092101 (2015) DOI: 10.7567/APEX.8.092101

(2)“Formulation and stabilization of nano-/microdispersion systems using naturally occurring edible polyelectrolytes by electrostatic deposition and complexation.”

Takashi Kuroiwa, Isao Kobayashi, Ai Mey Chuah, Mitsutoshi Nakajima, Sosaku Ichikawa
Adv. Colloid Interf. Sci., **226A**, 86-100, 2015.

(3)“Quantitative evaluation of the effects of moisture distribution on enzyme-induced acylation of trehalose in reduced-moisture organic media.”

Takashi Kuroiwa, Kazuyuki Kimura, Yoshihiro Aoki, Marcos A. Neves, Seigo Sato, Sukekuni Mukataka, Akihiko Kanazawa, Sosaku Ichikawa: *J. Food Res.*, **4** (5), 133-142, 2015.

(* 1 2) (4)“Enhanced light emission from germanium microdisks on silicon by surface passivation through thermal oxidation”

Xuejun Xu, Hideaki Hashimoto, Kentarou Sawano, Hiroshi Nohira, and Takuya Maruizumi

Applied Physics Express 9, 052101-1~4 (2016) DOI: 10.7567/APEX.9.052101

(5)“Enhanced light emission from N-doped Ge microdisks by thermal oxidation”

Hideaki Hashimoto, Xuejun Xu, Kentarou Sawano, and Takuya Maruizumi

ECS Transactions, 75(8): 689-693, 2016

(6)“Preparation of lipid vesicles having suitable size for drug delivery with high entrapment of hydrophilic molecules using multiple emulsions.”

Emmanuel C. Ossai, Takashi Kuroiwa, Yuya Otsuka, Yasuyuki Motokui, Takeshi Wada, Takeshi Isoda, Seigo Sato, Sosaku Ichikawa

J. Bioeng. Biomed. Sci., **7**, 213, 2016.

(7)“Improvement of synthetic activity and stability of a commercial lipase in a low-water system via immobilization of hydrated lipase aggregates.”

Takashi Kuroiwa, Kazuo Hamazaki, Maho Katayama, Seigo Sato, Toru Matsui
Process Biochem., **51**, 2047-2054, 2016.

(8)“Formulation of uniform-sized agar gel microbeads from water-in-oil emulsion prepared using microchannel emulsification under controlled temperature.”

Takashi Kuroiwa, Toru Katsumata, Yoshikazu Sueda, Shoto Warashina, Isao Kobayashi, Kunihiro Uemura, Akihiko Kanazawa
Jpn. J. Food Eng., **17** (1), 11-19, 2016.

(9)“Efficient encapsulation of a water-soluble molecule into lipid vesicles using W/O/W multiple emulsions via solvent evaporation.”

Takashi Kuroiwa, Kaname Horikoshi, Akihiko Suzuki, Marcos A. Neves, Isao Kobayashi, Kunihiro Uemura, Mitsutoshi Nakajima, Akihiko Kanazawa, Sosaku Ichikawa
J. Am. Oil Chem. Soc., **93**, 421-430, 2016.

(10)“Detection and counting of a submicrometer particle in liquid flow by self-mixing microchip Yb:YAG laser velocimetry”

Takayuki Ohtomo, Seiichi Sudo, and Kenju Otsuka
Appl. Opt. **55** (27) 7574-7582 (2016)

(* 1 2) (11)“Highly n-doped germanium-on-insulator microdisks with circular Bragg gratings”

Xuejun Xu, Hideaki Hashimoto, Kentarou Sawano, and Takuya Maruizumi
Optics Express **25**, 6550-6560 (2017) DOI: 10.1364/OE.25.006550

(12)“Freeze-dryable lipid vesicles with size tunability and high encapsulation efficiency prepared by the multiple emulsification-solvent evaporation method.”

Akihiko Suzuki, Takashi Kuroiwa, Kaname Horikoshi, Akihiko Kanazawa, Sosaku Ichikawa
Colloids Surf. B: Biointerfaces, **159**, 412-418, 2017.

(13)“Hydration-aggregation pretreatment for drastically improving esterification activity of commercial lipases in non-aqueous media.”

Maho Katayama, Takashi Kuroiwa, Kenya Suzuno, Ayumi Igusa, Toru Matsui, Akihiko Kanazawa
Enzyme Microb. Technol., **105**, 30-37, 2017.

(14)“Preparation characteristics of water-in-oil emulsion using olive oil as a continuous phase in microchannel emulsification.”

Miki Ito, Midori Uehara, Ryota Wakui, Makoto Shiota, Takashi Kuroiwa
Jpn. J. Food Eng., **18** (2), 103-111, 2017.

(15)“Cross-linkable chitosan-based hydrogel microbeads with pH-responsive adsorption properties for organic dyes prepared using size-tunable microchannel emulsification technique.”

Takashi Kuroiwa, Hideaki Takada, Asami Shogen, Kaori Saito, Isao Kobayashi, Kunihiro Uemura, Akihiko Kanazawa
Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects, **514**, 69-78, 2017.

(16)“Dielectric study on hierarchical water structures restricted in cement and wood materials”

Fumiya Abe, Akihiro Nishi, Hironobu Saito, Megumi Asano, Seiei Watanabe, Rio Kita, Naoki Shinyashiki, Shin Yagihara, Minoru Fukuzaki, Seiichi Sudo and Youki Suzuki
Meas. Sci. Technol. 28(4) 044008 (2017)

(* 1 0) (* 1 8) (17)“Resonant light emission from uniaxially tensile-strained Ge microbridges”

Peiji Zhou, Xuejun Xu, Sho Matsushita, Kentarou Sawano and Takuya Maruizumi
Japanese Journal of Applied Physics 57, 04FH10 (2018). DOI: /10.7567/JJAP.57.04FH10

(18)“Investigation of the molecular dynamics of restricted water in wood by broadband dielectric measurements”

S. Sudo, Y. Suzuki, F. Abe, Y. Hori, T. Nishi, T. Kawaguchi, H. Saito, S. Yagihara
J. Mater Sci. 53 (6), 4645-4654 (2018)

(* 1 4) (19) “Effects of post annealing on *in-situ* n-doped Ge-on-Si”

Yuta Kumazawa, Xuejun Xu, Takuya Maruizumi, Kentarou Sawano
Semiconductor Science and Technology 33, 124006 (7pp) (2018) DOI:/10.1088/1361-6641/aae62e

(* 1 3) (20) "Enhanced photoluminescence from strained Ge-on-Insulator surface-passivated with hydrogenated amorphous Si"

Kenta Niikura, Natsuki Yamahata, Yusuke Hoshi, Tsukasa Takamura, Kimihiko Saito, Makoto Konagai and Kentarou Sawano
Materials Science in Semiconductor Processing 115, 105104 (2020) DOI: /10.1016/j.mssp.2020.105104

< 図書 >

【雑誌解説記事】

澤野憲太郎

「超低消費電力・光電子融合デバイスに向けたゲルマニウムウェハー開発」
MATERIAL STAGE, Vol.17, No.12, pp 57-62 (2018)

徐学俊、澤野憲太郎

「シリコンフォトニクス光配線に向けたゲルマニウム発光素子」
光アライアンス, Vol. 29 , No. 5, pp 19-25 (2018)

< 学会発表 >

【国際会議発表 テーマ 1】

(1)“Study of Epitaxial La2O3 High-k/Ge(111) Interface by X-ray Photoelectron Spectroscopy”

Takeshi Kanashima, Hiroshi Nohira, Masato Zenitaka, Taro Kobayashi, Riku Yamashiro, Shinya Yamada, Kohei Hamaya
2015 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future Electron Devices -Science

and Technology, 2015/11

(2)“Initial Stage of SiO₂/SiC Interface Formation on C-face 4H-SiC”

Tomoya Sasago, Hitoshi Arai, Shunta Yamahori, Hiroshi Nohira

2015 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future Electron Devices -Science and Technology 2015/11

(3)“Anisotropic strain engineering of Si/Ge heterostructures” (Invited)

Kentarou Sawano

2016 Global Research Efforts on Energy and Nanomaterials (GREEN 2016) Taipei, Taiwan, Dec. 24 (2016).

(4)“Straining of Group IV Semiconductor Materials for Bandgap and Mobility Engineering” (Invited)

Kentarou Sawano

Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PRiME 2016), Honolulu, USA, Oct. 2-7 (2016).

(5)“Anisotropic Strain Introduction into Si/Ge Hetero Structures” (Invited)

Kentarou Sawano

Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PRiME 2016), Honolulu, USA, Oct. 2-7 (2016).

(* 2) (6)“Fabrication of high-quality strain relaxed SiGe(110) films by controlling defects via ion implantation”

M. Kato, T. Murakami, K. Arimoto, J. Yamanaka, K. Nakagawa, K. Sawano

19th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE 2016), Montpellier (France) (Sep 4-9, 2016)

(7)“Study on ion implantation conditions in fabricating compressively strained Si/relaxed Si_{1-x}C_x heterostructures using the defect control by ion implantation technique”

Y. Arisawa, K. Sawano and N. Usami

The 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-18), Nagoya, Japan (Aug 7-12, 2016)

(8)“Fabrication of uniaxially strained Ge by selective ion implantation technique”

Shiori Konoshima, Eisuke Yonekura, Kentarou Sawano

The 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-18), Nagoya, Japan (Aug 7-12, 2016)

(9)“Hole Mobility in Strained Si/SiGe/Vicinal Si(110) Grown by Gas Source MBE”

K. Arimoto, S. Yagi, J. Yamanaka, K. Nakagawa, N. Usami, K. Sawano

The 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-18), Nagoya, Japan (Aug 7-12, 2016)

(* 1 7) (10)“Strained Ge-on-Insulator Substrates toward Optoelectronic Integrated Circuits” (Invited)

Kentarou Sawano

The International Conference on Small Science (ICSS 2016), Prague, Czech Republic (June 25-29, 2016)

(11)“Control of Electrical Properties in Heusler-Alloy/Ge Schottky Tunnel Contacts formed by Phosphorous δ -Doping with Si-Layer Insertion”

Michihiro Yamada, Yuichi Fujita, Shinya Yamada, Kentarou Sawano, Kohei Hamaya

International SiGe Technology and Device Meeting 2016 (ISTDM2016), Nagoya, Japan (June 7-11, 2016)

(12)“Thermal Stability of Compressively Strained Si/Relaxed Si_{1-x}C_x Heterostructures Formed on Ar Ion Implanted Si (100) Substrates”

You Arisawa, Yusuke Hoshi, Kentarou Sawano, Junji Yamanaka, Keisuke Arimoto, Chiaya Yamamoto, Noritaka Usami

International SiGe Technology and Device Meeting 2016 (ISTDM2016), Nagoya, Japan (June 7-11, 2016)

(* 1) (* 1 7) (13)“Formation of Strained Ge-on-Insulator (GOI) Substrates using SiGe Etching Stop Layers”

Yuuki Yajima, Yuta Ariyama, Kentarou Sawano

International SiGe Technology and Device Meeting 2016 (ISTDM2016), Nagoya, Japan (June 7-11, 2016)

(14)“Room-Temperature Electrical Spin Injection and Detection in n-Ge through Co₂FeSi_{0.5}Al_{0.5}/n+-Ge Schottky Tunnel Contacts”

Yuichi Fujita, Michihiro Yamada, Shinya Yamada, Kentarou Sawano, Takeshi Kanashima, Kohei Hamaya

International SiGe Technology and Device Meeting 2016 (ISTDM2016), Nagoya, Japan (June 7-11, 2016)

(15)“Influence of sample thickness on breakdown time in Multi-layered Polyimide Films”

Tsuyoshi Tohmine, Keigo Mastubara, Hiroaki Miyake, Yasuhiro Tanaka

The Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), USB, pp.125-128, 2016/10, Toronto, Canada

(16)“Measurement of space charge accumulation in Dicyclopentadiene resin film at high temperature under high DC stress”

Taiki Ono, Masakazu Taira, Hiroaki Miyake, Yasuhiro Tanaka

The Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), USB, pp.121-124, 2016/10, Toronto, Canada

(17)“Measurement of Space Charge Distribution in Coating Material for Motor Windings under Square Wave Voltage”

Tomoyuki Iwata, Takaya Momose, Hiroaki Miyake, Yasuhiro Tanaka

IEEE International Conference on Dielectrics (ICD), USB, pp.155-158, 2016/07, Montpellier, France

(18)“Simultaneous Measurement of Space Charge Distribution and External Circuit Current in XLPE under HVDC at High Temperature”

Hiroki Kasuga, Toshiyuki Fujitomi, Hiroaki Miyake, Yasuhiro Tanaka

IEEE International Conference on Dielectrics (ICD), USB, pp.227-230, 2016/07, Montpellier, France

(19)“Space Charge Distribution Measurement in Corona Discharged Filler Added Polyimide Films under DC Stresses”

Koichi Ota, Kensuke Kumaoka, Takashi Saiki, Hiroaki Miyake, Yasuhiro Tanaka

IEEE International Conference on Dielectrics (ICD), USB, pp.159-162, 2016/07, Montpellier, France

(20)“The relationship between charge accumulation and scission of molecular chain in the proton irradiated PI”

Hiroaki Miyake, Ryo Uchiyama, Yasuhiro Tanaka
IEEE International Conference on Dielectrics (ICD), USB, pp.135-138, 2016/07, Montpellier, France

(21)“Analysis of Conductivity Distribution in PI Irradiated by Proton using Simultaneous Measurement of Space Charge Distribution and Conduction Current”
Takuma Mori, Ryohei Tone, Hiroaki Miyake, Yasuhiro Tanaka
14th Spacecraft Charging Technology Conference, USB, 2016/04, Noordwijk, Netherlands

(22)“Optimization of Photoelectron Emission Physical Model in the Spacecraft Insulating Material”
Kotaro Suzuki, Kenji Yabe, Hiroaki Miyake, Yasuhiro Tanaka, Masamichi Ohira, Teppei Okumura, Shiro Kawakita, and Masato Takahashi
14th Spacecraft Charging Technology Conference, USB, 2016/04, Noordwijk, Netherlands

(23)“The Relationship between Characteristic of Secondary Electron Emission and Irradiation does in Polyimide”
Hiroaki Taniguchi, Kazuki Kodama, Hiroaki Miyake, Yasuhiro Tanaka, Masamichi Ohira, Teppei Okumura, Shiro Kawakita, Masato Takahashi
14th Spacecraft Charging Technology Conference, USB, no.48, 2016/04, Noordwijk, Netherlands

(24)“A 2nd-order Δ AD Modulator using Dynamic Amplifier and Dynamic SAR Quantizer,”
C. Pan, H. San and T. Shibata,
The 2016 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (IEEE ISPACS 2016), pp.528{532, Phuket, Thailand, Oct. 2016.

(25)“Technique of ESD Protection Circuit for CMOS Operational Amplifier,” The 2016 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems”
K. Chin, A. Kitajima, Y. Arai, J. Yamashita, H. Ito, and H. San
Leakage Current Compensation (IEEE ISPACS 2016), pp.518{521, Phuket, Thailand, Oct. 2016.

(26)“Experimental Implementation of β -Expansion Cyclic ADC with Correlated Level Shifting Technique”
H. Tsuchiya, A. Uchiyama, Y. Mishima, Y. Watanabe, T. Matsuura, H. San and Masao Hotta
International Conference on Analog VLSI Circuits, pp.5{9, Boston, USA, Aug.2016.

(27)“A 14-bit 80ksps Cyclic ADC Based on β -expansion”
Y. Watanabe, H. Narita, J. Uchita, H. Tsuchiya, T. Matsuura, H. San and Masao Hotta
International Conference on Analog VLSI Circuits, pp.11{15, Boston, USA, Aug. 2016.

(28)“Non-Binary and BinaryWeighted Hybrid Pipeline ADC with β -estimation”
T. Suzuki, A. Hyogo, T. Matsuura and H. San
International Conference on Analog VLSI Circuits, pp.17{20, Boston, USA, Aug. 2016

(29)“Controlled doping for Ge based optoelectronic devices” (invited)
Kentarou Sawano
EMN/CC Meeting, Barcelona, Spain, Sep. 11-15 (2017)

(30)“Formation of uniaxially strained Ge by local introduction of ion implantation defects”
Shiori Konoshima, Eisuke Yonekura, Keisuke Arimoto, Junji Yamanaka, Kiyokazu

Nakagawa, and Kentarou Sawano

29th International Conference on Defects in Semiconductors (ICDS2017), Matsue, Japan, July 31 - Aug. 4 (2017)

(31)“Low-Defect-Density Al₂O₃ Insulating Layer for Gate-Controlled Si/SiGe Quantum Dots”

Ryotaro Matsuoka, Satoru Miyamoto, Kentarou Sawano, and Kohei M Itoh

29th International Conference on Defects in Semiconductors (ICDS2017), Matsue, Japan, July 31 - Aug. 4 (2017)

(* 2) (32)“Effects of ion implantation defects on strain relaxation of SiGe layers on Si (110)”

Kenji Oki, Madoka Kato, Keisuke Arimoto, Junji Yamanaka, Kiyokazu Nakagawa, and Kentarou Sawano

29th International Conference on Defects in Semiconductors (ICDS2017), Matsue, Japan, July 31 - Aug. 4 (2017)

(33)“Thermal Phonon MFP Spectrum Probing Using Phononic Crystals”

M. Nomura, J. Nakagawa, K. Sawano, J. Maire, R. Anufriev, S. Volz

MRS Spring Meeting & Exhibit, NM2.4.24, Phoenix, USA, April (2017).

(34)“Angle-Resolved Photoelectron Spectroscopy Studies of Initial Stage of Thermal Oxidation on 4H-SiC (0001) on-Axis and 4° Off-Axis Substrates ”

Hitoshi Arai, Ryoma Toyoda, Ai Ishohashi, Yasuhisa Sano, Hiroshi Nohira

The 231st ECS Meeting, New-orleans, America 2017/05

(34)“Space charge accumulation characteristics in double-layered samples composed of different insulating materials ”

Tsuyoshi Tohmine, Kumiko Iguchi, Hiroaki Miyake, Yasuhiro Tanaka, Yukito Ida, Yoshiyuki Inoue

Conference of Electro-physics & Application Society - KIEE, USB, 2017/10, Korea (Invited)

(35) “Physicochemical Analysis for fluorinated Polymer Films Irradiated by Proton”

Hiroaki Miyake, Virginie Griseri, Takuma Mori, Yasuhiro Tanaka, Gilbert Teysseire and Christian Laurent

The Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), USB, pp.106-109, 2017/10, Fort Worth TX, USA

(36) “Space charge accumulation behavior in fluorinated Polymer Films Irradiated by Proton under DC stress”

Hiroaki Miyake, Shugo Yoshida, Takuma Mori, Ushio Chiba, Yasuhiro Tanaka

The Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), USB, pp.50-53, 2017/10, Fort Worth TX, USA

(37)“Analysis of the relationship between amount of electron-hole pairs and relaxation time after electron beam irradiation in polymeric sample”

Shugo Yoshida, Kenta Iwama, Hiroaki Miyake, Yasuhiro Tanaka

The Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), USB, pp.141-144, 2017/10, Fort Worth TX, USA

(38)“Approach to measure of space charge distribution in Alumina material using PEA method under DC electric stress”

Masakazu Taira, Takuya Kurihara, Hiroaki Miyake, Yasuhiro Tanaka

The Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), USB, pp.82-85,

2017/10, Fort Worth TX, USA

(39)“Measurement of Space Charge Accumulated in Multi-Layered Samples Composed of Different Insulators used in the Joints of DC Transmission Cables”

Tsuyoshi Tohmine, Toshiyuki Fujitomi, Hiroaki Miyake, Yasuhiro Tanaka, Yukito Ida, Yoshiyuki Inoue

8th International Symposium on Electrical Insulating Materials(ISEIM 2017), USB, pp. 299-302, 2017/09, Toyohashi, Japan

(40)“Space Charge Formation in XLPE at Polarity Reversal under High Temperature ”

Hiroki Kasuga, Hiroaki Miyake, Yasuhiro Tanaka,

8th International Symposium on Electrical Insulating Materials(ISEIM 2017), USB, pp.535-538, 2017/09, Toyohashi, Japan

(41)“Influence of Sample Thickness of Low-Density Polyethylene Film on Packet-like Charges Behavior and Dielectric Breakdown”

Koichi Ota, Minori Kato , Hiroaki Miyake , Yasuhiro Tanaka , , 8th International Symposium on Electrical Insulating

Materials(ISEIM 2017), USB,pp.597-600 2017/09, Toyohashi, Japan

(42)“Development of Semiconductor Sensor as a Use for Pulsed Electro-Acoustic Method”

Keita Sonoda, Kousuke Saito, Hiroaki Miyake, Yasuhiro Tanaka, Kentarou Sawano, Takuya Maruizumi, Hideki Koshiishi

8th International Symposium on Electrical Insulating Materials(ISEIM 2017), USB, pp.601-604, 2017/09, Toyohashi, Japan

(43)“Reduction Effect of Cross-linking By-products on Dielectric Strength in Polyethylene under DC Stress”

Takehiro Kanai, Toshiyuki Fujitomi, Hiroaki Miyake, Yasuhiro Tanaka,

8th International Symposium on Electrical Insulating Materials(ISEIM 2017), USB, pp.489-492, 2017/09, Toyohashi, Japan

(44)“Accumulation Characteristics of Fluorine Insulating Materials under Electron Beam Irradiation”

Masahito Miyoshi, Kimio Hijikata, Hiroaki Miyake and Yasuhiro Tanaka Charge

8th International Symposium on Electrical Insulating Materials(ISEIM 2017), USB, pp.508-511, 2017/09, Toyohashi, Japan

(45)“The relationship between accumulated charge in electron beam irradiated fluorine insulating materials”

M. Miyoshi, K. Hijikata, H. Miyake, Y. Tanaka,

31th International Symposium on Space Technology and Science (ISTS), Web, 2017/06, Matsuyama, Japan

(46)“Relationship between Electron Beam Irradiation Dose and Photoelectron Emission Characteristics of Electron Beam Irradiated Insulating Materials”

K. Suzuki, H. Miyake, Y. Tanaka, T. Okumura, S. Kawakita, M. Takahashi, K. Koga

31th International Symposium on Space Technology and Science (ISTS), Web, 2017/06, Matsuyama, Japan

(47)“Evaluation of Insulating Materials during DC Voltage Charging by DCIC Method”

Keita Sonoda, Koichi Ota, Shugo Yoshida, Tsuyoshi Tohmine, Hiroaki Miyake, Yasuhiro Tanaka, Tatsuo Takada and Yoitsu Sekiguchi,

International Conference on Electrical Materials and Power Equipment(ICEMPE 2017), USB,

pp.247-252, 2017/05, Xi'an, China

(48)“Charge Accumulation Characteristics of XLPE under DC stress with Semi-conductive Electrode”

Hiroki Kasuga, Tatsuya Kamikawa, Hiroaki Miyake, Yasuhiro Tanaka

International Conference on Electrical Materials and Power Equipment(ICEMPE), USB, pp.14-19, 2017/05, Xi'an, China

(49)“A 12-Bit 3.3MS/s Pipeline Cyclic ADC with Correlated Level Shifting Technique”

K. Chin, Y. Mishima, Y. Watanabe, H. Tsuchiya, H. San, T. Matsuura and M. Hotta
International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS), Xiamen,

2017, pp. 602-605. doi: 10.1109/ISPACS.2017.8266549

(50)“The design of a 14-bit 400kSPS Non-binary Pipeline Cyclic ADC”

H. Tsuchiya, Y. Watanabe, K. Chin, H. San, T. Matsuura and M. Hotta

International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS), Xiamen, 2017, pp. 606-610. doi:10.1109/ISPACS.2017.8266550

(51)“Experimental results of reconfigurable non-binary cyclic ADC”

Y. Watanabe, K. Chin, H. Tsuchiya, H. San, T. Matsuura and M. Hotta

International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS), Xiamen, 2017, pp. 611-615. doi: 10.1109/IS-PACS.2017.8266551.

(52)“A 2nd-order Δ AD Modulator Using Ring Amplifier and SAR Quantizer with Simplified Operation Mode”

C. Pan, H. San and T. Shibata

MIXDES - 24th International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems, Bydgoszcz, 2017, pp. 45-49. doi:10.23919/MIXDES.2017.8004592

(53)“Non-binary Cyclic and Binary SAR Hybrid ADC”

K. Inoue, T. Matsuura, A. Hyogo, H. San

MIXDES - 24th International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems, Bydgoszcz, 2017, pp. 105-109. doi: 10.23919/MIXDES.2017.8005163

(54) “Non-Binary Cyclic ADC with Correlated Level Shifting Technique”

H. Tsuchiya, A. Uchiyama, Y. Mishima, Y. Watanabe, T. Matsuura, H. San and Masao Hotta
22nd Asia and South Pacific Design Automation Conference ASP-DAC 2017, pp.17{18, Chiba, Japan, Jan. 2017

(55) “14bit 80kSPS Non-Binary Cyclic ADC without High Accuracy Analog Components”

Y. Watanabe, H. Narita, J. Uchita, H. Tsuchiya, T. Matsuura, H. San and Masao Hotta
22nd Asia and South Pacific Design Automation Conference ASP-DAC 2017, pp.15{16, Chiba, Japan, Jan.

2017

(* 5) (56) “Structural and electrical properties of compressive strained Ge channels fabricated on Si (111) and Si (100)”

Md. Mahfuz Alam, Keijiro Sato, Kosuke Sawada, Kentarou Sawano

Joint ISTDM / ICSI 2018, Potsdam, Germany, May 27 - 31, 2018

(57)“Fabrication of Ge MOS with low interface trap density by ALD of Al₂O₃ on epitaxially grown Ge”

Ryotaro Matsuoka, Eriko Shigesawa, Satoru Miyamoto, Kentarou Sawano and K.M. Itoh

Joint ISTDM / ICSI 2018, Potsdam, Germany, May 27 - 31, 2018

(* 4) (58) "Formation of high quality Al₂O₃/Ge interface by ALD directly on epitaxial Ge"

Eriko Shigesawa, Masashi Fukumoto, Ryotaro Matsuoka, Ryosuke Sano, Kohei M. Itoh, Kentarou Sawano and Hiroshi Nohira

Joint ISTDM / ICSI 2018, Potsdam, Germany, May 27 - 31, 2018

(59) "Fabrication and evaluation of Ge on Si (110) by using two-step growth method"

K. Oki, K. Arimoto, J. Yamanaka, K. Nakagawa, K. Sawano

Joint ISTDM / ICSI 2018, Potsdam, Germany, May 27 - 31, 2018

(60) "Effect of Strain on the Binding Energy of Ge 2p and 3d core level"

R. Sano, S. Konoshima, K. Sawano, H. Nohira

Joint ISTDM / ICSI 2018, Potsdam, Germany, May 27 - 31, 2018

(61) "Room-temperature magnetoresistance effect in Ge lateral spin valve devices"

M. Tsukahara, M. Yamada, T. Naito, S. Yamada, K. Sawano, and K. Hamaya

Joint ISTDM / ICSI 2018, Potsdam, Germany, May 27 - 31, 2018

(62) "Electrical spin injection and transport in a SiGe alloy"

Michihiro Yamada, Takahiro Naito, Makoto Tsukahara, Shinya, Yamada, Kentarou Sawano, and Kohei Hamaya

Joint ISTDM / ICSI 2018, Potsdam, Germany, May 27 - 31, 2018

(* 1 9) (63) "Surface Morphology Evolution of Strained Si_{1-x}Ge_x Grown on Relaxed Ge(111)"

Youya Wagatsuma, Md. Mahfuz Alam, Kazuya Okada, Yusuke Hoshi, Michihiro Yamada, Kohei Hamaya, Kentarou Sawano

ISCSIVIII (8th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces), Tohoku University, Sendai, Japan, November 27-30, 2019

(64) "Si/Ge Heterostructures with Various Surface Orientations"

Md. Mahfuz Alam and Kentarou Sawano (Invited)

EMN Epitaxy 2019, Amsterdam, the Netherlands, June 18-20, 2019

(65) "Strain states and critical thickness of Si_{1-x}Ge_x epitaxial layers on Ge-on-Si(111)"

Md. Mahfuz Alam, Kazuya Okada, Yuya Wagatsuma, Yusuke Hoshi, Michihiro Yamada, Kohei Hamaya and Kentarou Sawano

ISTDM / ICSI 2019 Conference, Madison, USA, June 2-6, 2019

【国際会議発表 テーマ 2】

(1) "Formulation of stimuli-responsive gelatin microspheres coated with polysaccharides and their controlled release properties for biopolymers."

Takahiro Fujii, Maho Katayama, Takashi Kuroiwa, Akihiko Kanazawa

5th World Engineering Conference & Convention, Kyoto International Conference Center (Kyoto, Japan), No. PS 7-3-3, Nov. 30-Dec. 2, 2015.

(2) "Adsorptive treatment of dye wastewater using a chitosan-based particulate hydrogel: preparation and characterization as a pH-responsive adsorbent."

Kaori Saito, Takashi Kuroiwa, Akihiko Kanazawa

5th World Engineering Conference & Convention, Kyoto International Conference Center (Kyoto, Japan), No. PS 3-3-9, Nov. 30-Dec. 2, 2015.

(3)“Controlled preparation of lipid vesicles as carriers for hydrophilic drugs with high encapsulation efficiency by using water-in-oil-in-water multiple emulsions.”
Akihiko Suzuki, Kaname Horikoshi, Takashi Kuroiwa, Akihiko Kanazawa, Sosaku Ichikawa
5th World Engineering Conference & Convention, Kyoto International Conference Center (Kyoto, Japan), No. PS 7-3-2, Nov. 30-Dec. 2, 2015.

(4)“Improvement of esterification activity of lipase in organic media by hydration-aggregation treatment.”
Maho Katayama, Kenya Suzuno, Ayumi Igusa, Takashi Kuroiwa, Toru Matsui, Akihiko Kanazawa
Asian Congress on Biotechnology 2015, Hotel Istana (Kuala Lumpur, Malaysia), No. BPE-12, p.198, Nov. 15-19, 2015.

(5)“Efficient production of trehalose fatty acid esters by enzymatic transesterification using triglycerides as acyl donor substrate.”
Takashi Kuroiwa, Yoshihiro Aoki, Akihiko Kanazawa
Asian Congress on Biotechnology 2015, Hotel Istana (Kuala Lumpur, Malaysia), No. BPE-11, p.197, Nov. 15-19, 2015.

(* 1 2) (6)“Enhanced Light Emission from N-Doped Ge Microdisks by Thermal Oxidation”

H. Hashimoto, X. Xu, K. Sawano, T. Maruizumi
Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PRiME 2016), Honolulu, USA, Oct. 2-7 (2016).

(7)“Light Emission Enhancement from Ge Quantum Dots with Phosphorous δ -Doping”
K. Sawano, K. Mizutani, K. Watanabe, X. Xu, T. Maruizumi
19th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE 2016), Montpellier (France) (Sep 4-9, 2016)

(8)“Highly N-doped Ge Microdisks with Circular Bragg Gratings on Ge-on-Insulator”
H. Hashimoto, X. Xu, K. Sawano, T. Maruizumi
19th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE 2016), Montpellier (France) (Sep 4-9, 2016)

(9)“Influences of Phosphorous δ -Doping at Ge Quantum Dots / Si Interface on Photoluminescence Properties and Dot Formation”
K. Sawano, K. Watanabe, K. Mizutani, X. Xu, T. Maruizumi
The 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-18), Nagoya, Japan (Aug 7-12, 2016)

(* 1 2) (10)“High Q-factor resonant photoluminescence from Ge-on-Insulator microdisks”

Xuejun Xu, Hideaki Hashimoto, Keisuke Yoshida, Kentarou Sawano, and Takuya Maruizumi
SPIE Photonics Europe 2016, Brussels, Belgium, April 4-7, 2016

(11)“Anisotropic Diffusion and Relaxation of Water Molecules in Wood Observed by PFG-NMR”
Y.Hori, T.Kawaguchi, R. Kita, N. Shinyashiki, S. Yagihara, M. Fukuzaki, S. Sudo, and Y.Suzuki
26th Annual Meeting of MRS-Japan 2016, 横浜, 2016年12月

(12)“Dielectric Study on Dynamics of Water Molecules and Ions Restricted in Cement and Wood Materials”

S. Yagihara, F. Abe, N. Nishi, H. Saito, M. Asano, S. Watanabe, R. Kita, N. Shinyashiki, M. Fukuzaki, S. Sudo, and Y.Suzuki

11th International Conference on Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substanc, Italy, 2016 年 5 月

(13)“Akihiko Kanazawa: Effect of hydration-aggregation treatment on the esterification activity of lipases.”

Maho Katayama, Takashi Kuroiwa, Toru Matsui

17th International Biotechnology Symposium 2016, Melbourne Convention Centre (Melbourne, Australia), No. 101, Oct. 24-27, 2016.

(* 1 0) (* 1 8) (14)“The Resonant Phenomenon in the PL Spectra Measured in the Tensile-Strained Ge Microbridges”

Peiji Zhou, Xuejun Xu, Yuta Kanda, Sho Matsushita, Kentarou Sawano, and Takuya Maruizumi

International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), Sendai, Japan, September 19-23, 2017

(15)“Circular distributed Bragg reflector resonators on highly n-doped Ge-on-insulator”

Hideaki Hashimoto, Yuta Kumazawa, Xuejun Xu, Kentarou Sawano, and Takuya Maruizumi

10th International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-10), Coventry, UK, May14-19 (2017)

(* 1 0) (* 1 8) (16)“Resonant light emission from uniaxially tensile-strained Ge microbridges”

Sho Matsushita, Yuta Kanda, Xu Xuejun, Kentarou Sawano, Takuya Maruizumi

10th International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-10), Coventry, UK, May14-19 (2017)

(* 1 0) (17)“Resonant light emission from highly n-doped germanium-on-insulator microdisks with circular Bragg grating”

Xuejun Xu, Hideaki Hashimoto, Kentarou Sawano, and Takuya Maruizumi

Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO: 2017), San Jose, US, May 14-19, 2017

(18)“Investigation of the molecular dynamics of reistricted water in wood by broadband dielectric measurements”

S. Sudo, Y. Suzuki, F. Abe, Y. Hori, K. Kawaguchi, H. Saito, and S. Yagihara

27th Annual Meeting of MRS-Japan 2017, 横浜, 2017 年 12 月

(19)“Anisotropic Diffusion and Relaxation of Water Molecules in Wood Observed by PFG-NMR and Dielectric Spectroscopy”

Y. Hori, T. Kawaguchi, R. Kita, N. Shinyashiki, S. Yagihara, M.Fukuzaki, S. Sudo, and Y.Suzuki

27th Annual Meeting of MRS-Japan 2017, 横浜, 2017 年 12 月

(20)“High-speed analysis of droplet formation in microchannel emulsification using vegetable oils.”

Miki Ito, Takashi Kuroiwa, Akihiko Kanazawa

The 17th Congress of Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering, Hong Kong Convention and Exhibition

Center (Hong Kong, China), Micro-React-P10, p. 263, Aug. 23-27, 2017.

(21) "Enzymatic synthesis of trehalose esters via lipase-catalyzed transesterification using triacylglycerols with different acyl groups."

Kohei Takeda, Takashi Kuroiwa, Yoshihiro Aoki, Akihiko Kanazawa

The 17th Congress of Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering, Hong Kong Convention and Exhibition Center (Hong Kong, China), Nano-Mat-P8, p. 625, Aug. 23-27, 2017

(22) "Germanium light source monolithically integrated on Si platform" (Invited)

Kentarou Sawano, Xuejun Xu, Takuya Maruizumi

International Conference on Small Science 2018 (ICSS 2018), Rome, Italy, July 4, 2018

(* 1 4) (23) "Effects of post annealing on in-situ n-doped Ge-on-Si"

Yuta Kumazawa, Xuejun Xu, Kentarou Sawano, Takuya Maruizumi

Joint ISTDM / ICSI 2018, Potsdam, Germany, May 27 - 31, 2018

(24) "CMOS-compatible Germanium Light Sources" (Invited)

Kentarou Sawano, Xuejun Xu, Takuya Maruizumi

233rd ECS Meeting, Seattle, USA, May 13-17, 2018

(25) "Strained Ge Optoelectronic Devices Integrated on a Si Platform" (Invited)

Kentarou Sawano

Nanotech Malaysia 2018, Kuala Lumpur, Malaysia, May 7, 2018

(* 1 3) (26) "Enhanced Photoluminescence from Strained Ge-on-Insulator Surface-Passivated with Hydrogenated Amorphous Si"

Kenta Niikura, Yuta Kumazawa, Natsuki Yamahata, Yusuke Hoshi, Tsukasa Takamura,

Kimihiko Saito, Makoto Konagai, Kentarou Sawano

ISCSIVIII (8th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces), Tohoku University, Sendai, Japan, November 27-30, 2019

(27) "Optical Interferences in Monolayer Tungsten Disulfide and Tungsten Diselenide Encapsulated by Hexagonal Boron nitride"

Yusuke Hoshi, Shunya Hayashida, Kentarou Sawano

ISCSIVIII (8th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces), Tohoku University, Sendai, Japan, November 27-30, 2019

(28) "Effect of thermal annealing at a low temperature on exciton dynamics in semiconducting MoTe₂ crystals"

Shunya Hayashida, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Kentarou Sawano, and Yusuke Hoshi

SSDM2019, Nagoya University, Nagoya, Japan, September 2-5, 2019

(29) "Thermal stability of mechanically-exfoliated monolayer and few layer MoTe₂"

Shunya Hayashida, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Kentarou Sawano, and Yusuke Hoshi

ISCSIVIII (8th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces), Tohoku University, Sendai, Japan, November 27-30, 2019

【国内会議発表 テーマ 1 & 2】 (件数が多いため、応用物理学会のみ記載)

第 63 回応用物理学会春季学術講演会、東京工業大学、2016 年 3 月 (11 件)

(* 1) (* 1 7) [21p-P17-5] SiGe ストップ層を用いた歪み Ge-on-Insulator 構造の形成技術開発

矢島 佑樹、澤野憲太郎

[21p-P9-5] 貼り合わせ法による一軸性歪み SiGe-on-Insulator (SGOI) の作製

松尾 拓哉、澤野憲太郎

[20p-W323-5] アモルファス SiGe フォノンニック結晶ナノ構造の熱伝導

中川 純貴、Jeremie Maire、澤野憲太郎、野村 政宏

(*10) [21p-P16-11] 円形マイクロブリッジ構造による GOI の二軸引っ張り歪み増強

松下 奨、徐 学俊、澤野憲太郎、丸泉 琢也

[20a-H112-10] イオン注入を利用した圧縮歪み Si/緩和 Si_{1-x}C_x ヘテロ構造の作製におけるイオン注入条件の検討

有澤 洋、澤野憲太郎、宇佐美 徳隆

(*11) [21p-P16-12] Ge 量子ドット/Si 界面への P デルタドーピングが発光特性とドット形成に与える影響

渡邊 幸樹、徐 学俊、澤野憲太郎、丸泉 琢也

[20p-W323-12] エピタキシャル Ge ナノドット含有 Si 構造を用いた Si 系熱電材料の性能向上

山阪 司祐人、渡辺 健太郎、澤野憲太郎、竹内 正太郎、酒井 朗、中村 芳明

[21a-P8-22] 高効率 GaInP//Si 低倍率集光型・波長スプリッティング太陽電池

久保田 智也、佐藤 綾祐、澤野憲太郎、Sichanugrist Porponth、小長井 誠

[22a-W321-7] 低倍率集光型 Si ヘテロ接合太陽電池の動作解析

佐藤 綾祐、櫻井 健太、澤野憲太郎、Sichanugrist Porponth、中田 和吉、小長井 誠

[20p-H112-5] 選択的イオン注入法で作製した一軸性歪 Ge の異方性応力評価

山本 章太郎、武内 一真、小瀬村 大亮、此島 詩織、澤野憲太郎、小椋 厚志

[21p-P9-7] 微傾斜基板を用いた伸張歪み Si/緩和 SiGe/Si (110) ヘテロ構造のモフォロジー及び素子特性

宇津山 直人、佐藤 圭、山田 崇峰、有元 圭介、山中 淳二、中川 清和、原 康介、宇佐美 徳隆、澤野憲太郎

第 77 回応用物理学会秋季学術講演会、朱鷺メッセ、新潟 2016 年 9 月 (13 件)

[14p-B12-13] SiGe フォノンニック結晶におけるナノスケール熱伝導

野村 政宏、中川 純貴、澤野憲太郎

(*10) [15a-P8-4] 高濃度 n 型ドーパ Ge マイクロディスクの共振フォトルミネセンス

橋本 秀明、徐 学俊、澤野憲太郎、丸泉 琢也

[16a-A24-9] ヘテロ接合型 Si 太陽電池の開放電圧の制限要素

佐藤 綾祐、澤野憲太郎、Porponth Sichanugrist、中田 和吉、小長井 誠

[14a-B12-2] Si 薄膜中エピタキシャル Ge ナノドット積層構造における熱伝導率の低減

渡辺 健太郎、山阪 司祐人、澤野憲太郎、中村 芳明

[15p-A35-14] 鉄シリサイドナノドット積層構造の制御による熱電物性向上

坂根 駿也、渡辺 健太郎、藤田 武志、澤野憲太郎、中村 芳明

(* 2) [16a-D61-5] Si(110)基板上 SiGe 膜の歪み緩和におけるイオン注入の効果

加藤 まどか、村上 太陽、有元 圭介、山中 淳二、中川 清和、澤野憲太郎

(* 9) [16a-D61-2] Epitaxial Lift-Off (ELO)法を用いた GOI 基板の作製

大久保 亮太、徐 学俊、澤野憲太郎、丸泉 琢也

[14a-C41-4] Electrical spin injection and detection in n+-Ge using Schottky tunnel contacts

藤田 裕一、山田 道洋、山田 晋也、金島 岳、澤野憲太郎、浜屋 宏平

(* 1 0) [15a-P8-6] GOI 上歪み円形マイクロブリッジの発光特性

大野 剛嗣、徐 学俊、澤野憲太郎、丸泉 琢也

[13a-D61-6] Si ナノウォール構造の作製

篠塚 敦史、徐 学俊、澤野憲太郎、吉葉 修平、平井 政和、市川 幸美、小長井 誠

[14a-A24-9] 多接合波長スプリットング太陽電池の実現に向けた屋外発電特性評価

高橋 怜美、澤野憲太郎、Porponth Sichanugrist、熊田 昌年、渡辺 晴菜、植田 謙、小長井 誠

[15p-P11-8] イオン注入歪み緩和法を用いて形成した Si/Si_{1-x}C_x/Si(001)構造の結晶性評価

村上 太陽、有元 圭介、山中 淳二、原 康祐、山本 千綾、宇佐美 徳隆、星 裕介、有澤 洋、澤野憲太郎、中川 清和

[15p-P11-7] 伸張歪み Si/緩和 SiGe/Si(110)ヘテロ構造の結晶成長中における表面形状形成過程に関する研究

山田 崇峰、宇津山 直人、佐藤 圭、白倉 麻衣、山本 千綾、有元 圭介、山中 淳二、原 康祐、宇佐美 徳隆、澤野憲太郎、中川 清和

第 64 回応用物理学会春季学術講演会、パシフィコ横浜、2017 年 3 月 (5 件)

(* 1 8) [16a-F204-2] An Optical Resonator for Tensile-strained Ge

Microbridge by Using Multimode Interference Coupler Loop Mirrors

徐 学俊、松下 奨、澤野憲太郎、丸泉 琢也

[15a-422-2] 波長スプリットング太陽電池ボトムセルへの応用を目指したヘテロ接合 Ge 太陽電池

大谷 俊貴、佐藤 綾祐、澤野憲太郎、小長井 誠

[15p-E206-8] ナノドット含有 Si 薄膜における構造と出力因子の関係

坂根 駿也、渡辺 健太郎、藤田 武志、澤野憲太郎、中村 芳明

[15p-P14-8] 高空間分解能 HXPES による Ge 2p 内殻準位の結合エネルギーに歪みが与え

る影響の検出

佐野 良介、此島 志織、滝沢 耕平、澤野憲太郎、野平 博司

[15a-422-3] InGaP//Si 波長スプリッティング太陽電池の屋外発電特性

高橋 怜美、澤野憲太郎、熊田 昌年、渡辺 晴菜、山田 繁、植田 謙、小長井 誠

第 78 回応用物理学会秋季学術講演会、福岡国際会議場、福岡 2017 年 9 月 (8 件)

(* 3) [8p-C19-4] 二段階成長法を用いた Si(110) 基板上 Ge 層の作製と評価

大木 健司、有元 圭介、山中 淳二、中川 清和、澤野憲太郎

(* 4) [6a-PA9-1] エピタキシャル Ge 上の直接 ALD による Al₂O₃ 層の形成と評価

繁澤 えり子、佐野 良介、池上 和彦、澤野憲太郎、野平 博司

[5p-A503-5] ナノドット含有 Si 薄膜の熱電特性に与える熱処理の影響

坂根 駿也、渡辺 健太郎、藤田 武志、Md. Mahfuz Alam、澤野憲太郎、中村 芳明

[5p-A503-4] 組成制御による SiGe/Si 超格子の出力因子増大

谷口 達彦、奥畑 亮、渡辺 健太郎、Md. Mahfuz Alam、澤野憲太郎、藤田 武志、中村 芳明

[7p-PA9-4] Si キャップ/Ge 量子ドット積層構造の XPS 評価

花田 直士、田中 彰博、新藤 恵美、徐 学俊、澤野憲太郎、野平 博司、丸泉 琢也

[6a-C18-4] 低 RA ショットキートンネル接合電極を用いた n-Ge 中の室温スピン伝導検出

塚原 誠人、山田 道洋、藤田 裕一、内藤 貴大、山田 晋也、澤野憲太郎、浜屋 宏平

(* 1 1) [7p-PA9-3] Ge 量子ドットへの P-Spin-on-Doping が発光特性に与える効果

原田 波子、徐 学俊、澤野憲太郎、丸泉 琢也

(* 8) [6p-C13-4] Spin-on-dopant 拡散による Ge ダイオードの電流注入での発光

岡重 柊汰、徐 学俊、澤野憲太郎、丸泉 琢也

第 65 回応用物理学会春季学術講演会、早稲田大学、2018 年 3 月 【10 件】

[19p-P10-1] 歪み Ge チャンネル構造における P ドープを用いたパラレル伝導の抑制

澤田 浩介、高士 孝司、ミロノフ マクシム、澤野憲太郎

[18a-D101-2] ヘテロ接合型 Si 太陽電池の Electroluminescence 特性

近藤 嶺、澤野憲太郎、市川 幸美、小長井 誠

[20a-F214-5] In-situ n 型ドープ Ge-on-Si におけるポストアニールの影響

熊澤 祐太、徐 学俊、澤野憲太郎、丸泉 琢也

(* 1 6) [19a-B201-1] Ge 中赤外光グレーティングカプラ

大迫 力人、徐 学俊、澤野憲太郎、丸泉 琢也

[19p-P10-5] Ge(111) 基板上の歪み Si_{1-x}Ge_x 膜成長と臨界膜厚の評価

坂本 優、山田 道洋、浜屋 宏平、澤野憲太郎

(* 5) [19p-P10-6] MBE と ALD による Al₂O₃/歪み Ge チャンネル構造の形成と電気特性評

価

佐藤 慶次郎、繁澤 えり子、岩永 洋斗、マクシム ミロノフ、澤野憲太郎

[20p-C304-8] SiGe ナノワイヤーにおける弾道的熱輸送

岡本 昂、柳澤 亮人、アラム マハフーズ、澤野憲太郎、野村 政宏

[19a-G203-6] Room-temperature spin transport in n-Ge probed by four-terminal nonlocal measurements

山田 道洋、塚原 誠人、藤田 祐一、内藤 貴大、山田 晋也、澤野憲太郎、浜屋 宏平

[17a-F102-10] ナノ構造化 Si 薄膜における出力因子決定機構

坂根 駿也、渡辺 健太郎、成瀬 延康、Md. Mahfuz Alam、澤野憲太郎、森 伸也、中村 芳明

[17a-F102-9] 界面制御による Si/SiGe 超格子の出力因子操作

谷口 達彦、渡辺 健太郎、Md. Mahfuz Alam、澤野憲太郎、中村 芳明

第 79 回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋国際会議場、名古屋 2018 年 9 月 (6 件)

[20p-234B-6] 低温における SiGe ナノワイヤー中の熱輸送に関する考察

岡本 昂、柳澤 亮人、アラム マハフーズ、澤野 憲太郎、野村 政宏

[19p-PB7-1] 選択エッチングを用いた歪み SiGe(111)-0n-Insulator 基板の作製

大島 修一郎、坂本 優、山田 道洋、浜屋 宏平、澤野 憲太郎

[18p-235-9] Ge 量子ドットを有する円形 DBR 微小共振器構造の発光特性

石井 大介、水谷 昂平、原田 波子、徐 学俊、丸泉 琢也、澤野 憲太郎

[18p-235-11] ウェットエッチングによる歪み Ge マイクロブリッジの作製

田村 亮貴、大久保 亮太、徐 学俊、丸泉 琢也、澤野 憲太郎

[21p-131-1] [優秀論文賞受賞記念講演] Room-temperature spin transport in n-Ge probed by four-terminal nonlocal measurements

山田 道洋、塚原 誠人、藤田 裕一、内藤 貴大、山田 晋也、澤野 憲太郎、浜屋 宏平

[19p-PB7-3] 伸張歪み Si/緩和 SiGe/Si (110)ヘテロ構造のゲート電圧印加 Hall 測定による移動度評価

浪内 大地、佐藤 圭、澤野 憲太郎、有元 圭介、山中 淳二、原 康祐、中川 清和

第 66 回応用物理学会春季学術講演会、東京工業大学、2019 年 3 月 【4 件】

(* 6) [12p-M113-9] ガラス上への Ge 貼り合わせにおける界面アモルファス層挿入の効果

小野 貴史、高藤 裕、澤野 憲太郎

[9p-W371-3] 温度と組成に依存する Si_{1-x}Ge_x ナノワイヤ中の準弾道的熱輸送

岡本 昂、柳澤 亮人、マハフーズ アラム、澤野 憲太郎、黒澤 昌志、野村 政宏

[10a-W351-4] 高出力因子 Si-rich SiGe/Si 超格子における更なる低熱伝導率化
谷口 達彦、石部 貴史、Md. Mahfuz Alam、澤野 憲太郎、中村 芳明

[12a-PB3-3] 水素ラジカル加熱を用いたガラス基板上 Poly-Si 形成技術開発
中家 大希 1、斎藤 慎吾 1、荒井 哲司 1、上村 和貴 1、有元 圭介 1、原 康祐 1、山中
淳二 1、中川 清和 1、高松 利行 2、澤野 憲太郎 3

第 80 回応用物理学会秋季学術講演会、北海道大学、札幌 2019 年 9 月 (9 件)

[19p-E313-7] In-situ ドープによる Ge-on-Si(111) の n 型伝導制御
水口 俊希、大島 修一郎、澤野 憲太郎

[19p-E313-6] P ドープ Ge-on-Si における拡散ストップ層挿入の効果
山田 航大、熊澤 裕太、丸泉 琢也、澤野 憲太郎

(* 1 5) [18p-PA2-1] ナノ多孔層ガラス基板を利用した Ge ナノドットの作製
石井 大介、下田 麻由、伊藤 匠、星 裕介、藤間 卓也、澤野 憲太郎

[18a-PA5-3] サブ波長格子構造を有する Si 中赤外導波路
大迫 力人、徐 学俊、忠永 修、澤野 憲太郎、丸泉 琢也、俵 毅彦、後藤 秀樹

[19p-E307-7] 欠陥制御によるナノ結晶含有 Si 薄膜の熱電特性改善
坂根 駿也、石部 貴史、成瀬 延康、目良 裕、Md. Mahfuz Alam、澤野 憲太郎、中村 芳
明

[21p-E201-7] hBN/1L-WSe₂/hBN 構造の光取り出し効率の改善
林田 隼弥、渡邊 賢司、谷口 尚、増渕 覚、守谷 頼、町田 友樹、澤野 憲太郎、星 裕
介

[19p-E313-4] Ge-on-Si(111) 及び Ge(111) 基板上的歪み Si_{1-x}Ge_x の臨界膜厚
我妻 勇哉、Md. Mahfuz Alam、岡田 和也、星 裕介、山田 道洋、浜屋 宏平、澤野 憲太
郎

[19p-E313-9] 歪み Si/緩和 SiGe/Si(110)ヘテロ構造 p-MOSFET における電界効果移動度
の歪み Si 膜厚依存性
藤澤 泰輔、各川 敦史、浪内 大地、斎藤 慎吾、佐野 雄一、泉 大輔、山中 淳二、原
康祐、澤野 憲太郎、中川 清和、有元 圭介

[19p-E313-8] 歪み Si/緩和 SiGe/Si(110)ヘテロ構造の反転キャリアの Hall 移動度評価
浪内 大地、澤野 憲太郎、各川 敦史、佐野 雄一、泉 大輔、有元 圭介、山中 淳二、原
康祐、中川 清和

第 67 回 応用物理学会春季学術講演会 上智大学、東京 2020 年 3 月 (5 件)

(* 1 7) [12p-D519-8] GOI 基板作製における貼り合わせ後熱処理の影響

柴田 翔吾、石川 亮佑、星 裕介、澤野 憲太郎

[14a-A404-4] 単層 MoTe₂ の hBN 封止構造における熱処理による光学特性への影響

林田 隼弥、齋藤 梨沙、渡邊 賢司、谷口 尚、澤野 憲太郎、星 裕介

[13a-D511-5] Si-rich SiGe/Si 超格子における高熱電出力因子の要因

谷口 達彦、石部 貴史、Md. Mahfuz Alam、澤野 憲太郎、中村 芳明

[12p-D519-6] Ge-on-Si 基板のパターニングによる歪み SiGe 層中クラック発生の抑制

我妻 勇哉、Md. Mahfuz Alam、岡田 和也、星 裕介、山田 道洋、浜屋 宏平、澤野 憲太郎

[13a-D511-6] ナノ構造化 Si 薄膜における構造制御による高熱電性能化

坂根 駿也、石部 貴史、成瀬 延康、目良 裕、Alam Md. Mahfuz、澤野 憲太郎、中村 芳明

<研究成果の公開状況> (上記以外)

シンポジウム・学会等の実施状況、インターネットでの公開状況等
<既に実施しているもの>

【シンポジウム・セミナー開催】 (【資料1】)

2015年 12月 14日 キックオフ・シンポジウム開催

2016年 4月 29日 総研セミナー開催

2017年 5月 8日 総研セミナー開催

2017年 12月 15日 総研セミナー開催

2018年 6月 28日 総研セミナー開催

2019年 4月 25日 総研セミナー開催

【イベント出展】

2017年 1月 24日 JST 新技術説明会にて技術紹介

2018年 8月 31日 イノベーションジャパン出展 (総合研究所の大学組織展示として)

2018年 12月 12-14日 SEMICON Japan 2018 出展

2019年 12月 11-13日 SEMICON Japan 2019 出展

【新聞・雑誌 記事掲載】 (【資料2】)

2016年 1月 25日 フジサンケイビジネスアイ (16面) 「ゲルマニウムを基盤とする半導体デバイス開発に着手」

2016年 5月 30日 日本経済新聞 (13面) 「基板の面積広げ 消費電力抑える」

2016年 6月 28日 日刊工業新聞 (31面) 「大面積ゲルマニウムウェハー 絶縁膜上に作製」

2017年 5月 17日 日刊工業新聞 (29面) 「ゲルマニウム内電子流れ解明 次世代半導体技術に道」 (阪大と共同)

【インターネット公開】

総合研究所の HP にて研究内容、プロジェクトについて掲載

<http://www.arl.tcu.ac.jp/>

<これから実施する予定のもの>

・総合研究所ホームページでの本プロジェクト成果報告内容の公開 2020年7月公開予定

・2020年9月総研セミナー（成果報告会）開催予定

1.4 その他の研究成果等

【受賞】

① 応用物理学会 結晶工学分科会研究会(未来塾) 発表奨励賞 (2016年11月7日)

受賞者：修士課程2年 橋本秀明

タイトル：「円形ブラッグ・グレーティングを有する Ge マイクロディスクの共振 PL」

共著者：橋本秀明, 徐学俊, 澤野憲太郎, 丸泉琢也

② 第21回電子デバイス界面テクノロジー研究会「最優秀講演賞（服部賞）（2016年1月23日）

受賞者：修士課程1年 橋本秀明

タイトル：「表面不活性化による歪み Ge-on-Insulator の発光強度増大」

共著者：橋本秀明, 徐学俊, 澤野憲太郎, 丸泉琢也

③ 応用物理学会 シリコンテクノロジー分科会 論文賞 2018年3月19日

“ Room-temperature spin transport in n-Ge probed by four-terminal nonlocal measurements “

受賞者：山田道洋, 塚原誠人, 藤田裕一, 内藤貴大, 山田晋也, 澤野憲太郎, 浜屋宏平

④ 平成28年度東京都市大学優秀研究賞・若手研究者奨励賞 2016年9月9日

受賞者：徐学俊

受賞業績：「ゲルマニウムを用いる発光材料及びデバイスの高性能化に関する研究」

⑤ 平成29年度東京都市大学優秀研究賞・優秀研究者賞 2017年9月4日

受賞者：澤野 憲太郎

受賞業績：「次世代半導体デバイスの基盤となる高性能結晶の形成技術開発に関する研究」

1.5 「選定時」及び「中間評価時」に付された留意事項及び対応

<「選定時」に付された留意事項>

なし

<「選定時」に付された留意事項への対応>

なし

<「中間評価時」に付された留意事項>

なし

<「中間評価時」に付された留意事項への対応>

なし