

Siプラットフォーム上に作製可能な 新規赤外センサー材料の開発

茨城大学学術研究院応用理工学野
助教 坂根駿也

2025年10月21日

新技術の概要

- ・ 安価なSi基板上に、单一材料で短波長赤外(SWIR)から長波長赤外(LWIR)まで広帯域に検出する赤外受光素子を開発した。
- ・ 新規材料「 $Mg_3(SbBi)_2$ 」は、組成比(Sb:Bi)の制御のみで検出波長の自在な設計が可能である。
- ・ 本技術は、高性能な赤外線イメージセンサーの圧倒的な低成本化・小型化・多機能化を実現するものである。
- ・ これにより、従来は導入が困難であった民生機器やIoTデバイスへの応用を可能とし、社会の安全性・利便性を飛躍的に向上させる。

背景

- ・赤外線センサーは、自動運転の「眼」、スマートシティの「感覚器」として社会インフラに不可欠な存在となり、その需要は爆発的に増加している。
- ・しかし、従来のセンサーは高コストであり、民生機器への普及の大きな障壁となっている。
- ・安全で豊かな社会の実現には、安価で高性能な赤外線センサーの開発が不可欠である。

従来技術とその問題点

課題1: 高価な材料

- InGaAs(インジウムガリウムヒ素)やHgCdTe(水銀カドミウムテルル)といった、**希少で高価な材料**に依存。

課題2: 複雑な製造プロセスと高コスト

- センサー部とSi-CMOS読み出し回路の一体化が困難で、**製造プロセスが複雑かつ高コスト**。

従来技術とその問題点

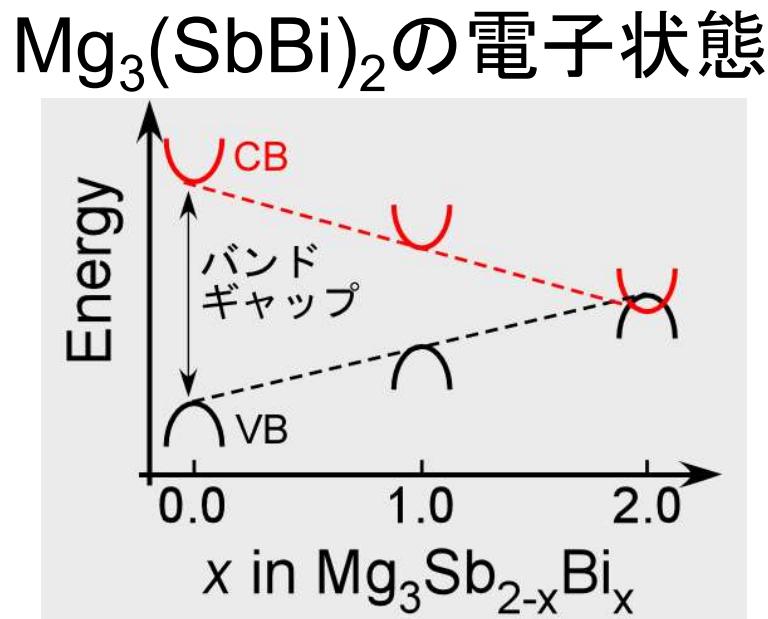
課題3：限定的な検出波長とシステムの複雑化

- SWIR・MWIR・LWIRなど、**波長帯ごとに異なる材料が必要。**
- 広帯域化には**複数センサーの組み合わせが必須**であり、システムの大型化・複雑化を招く。

新技術の特徴①

単一材料による広帯域検出

- ・ 安価で豊富な元素からなる新規材料「 $Mg_3(SbBi)_2$ 」を採用。
- ・ これまで熱電材料として研究されていた材料に注目

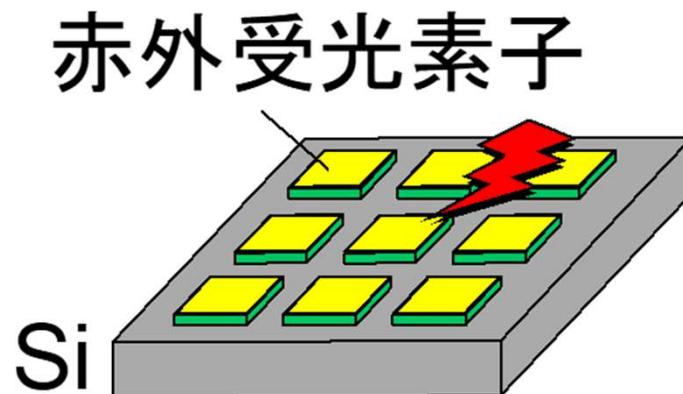


アンチモン(Sb)とビスマス(Bi)の組成比を変えるだけで、バンドギャップの連続的な制御が可能。
→ 単一材料系でSWIRからLWIRまで、検出波長を自在に設計可能

新技術の特徴②

Siプラットフォーム活用による圧倒的な低成本化

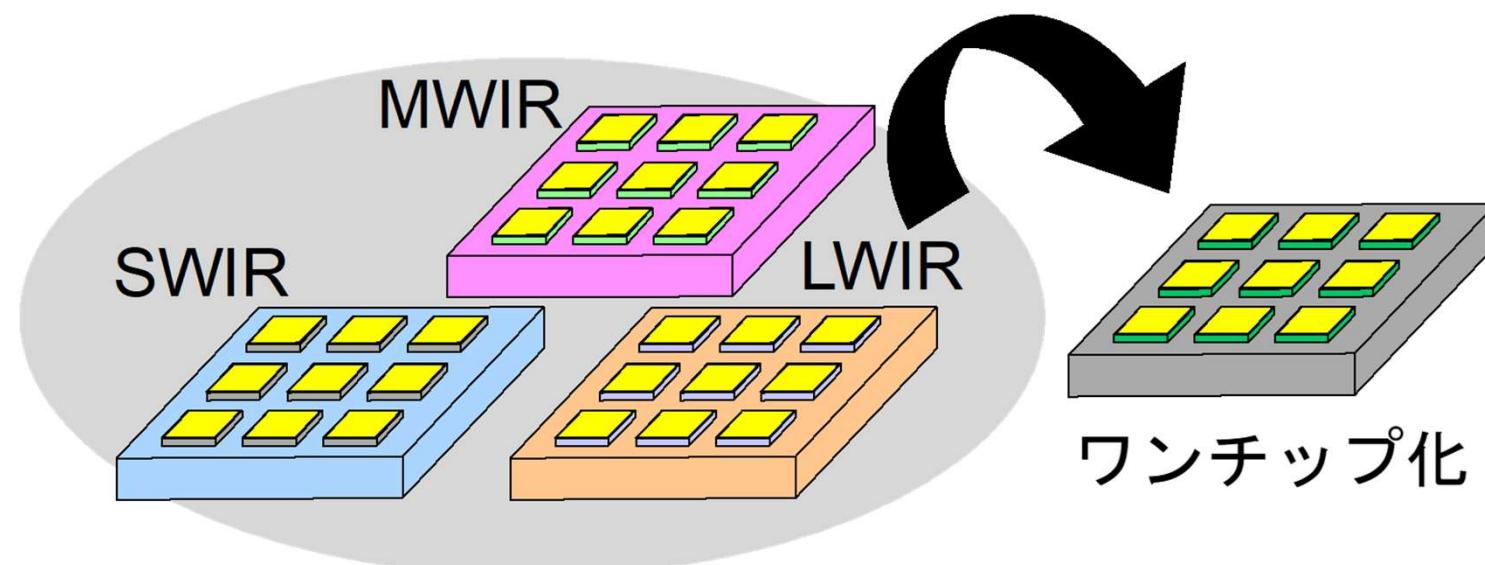
- 安価・大面積のSi基板上に直接成膜が可能。
- Si-CMOS回路との一体化(モノリシック化)が容易であり、製造プロセスを簡略化し、劇的なコストダウンを実現。
- 既存のSi半導体製造インフラの活用により、優れた大量生産性を有する。



新技術の特徴③

単一素子による多機能化・小型化

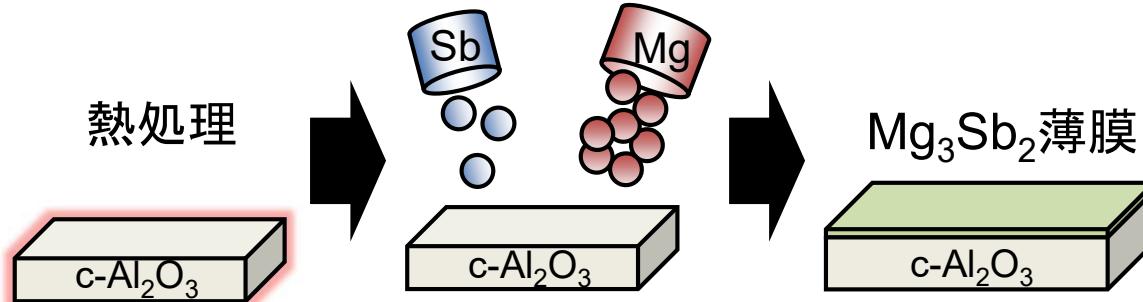
- ・ 単一の受光素子でマルチバンド(複数波長帯)の検出が可能。
- ・ 複数センサーが必要だった機能を**1チップ**で実現し、システムの**小型化、軽量化、低消費電力化**に大きく貢献する。



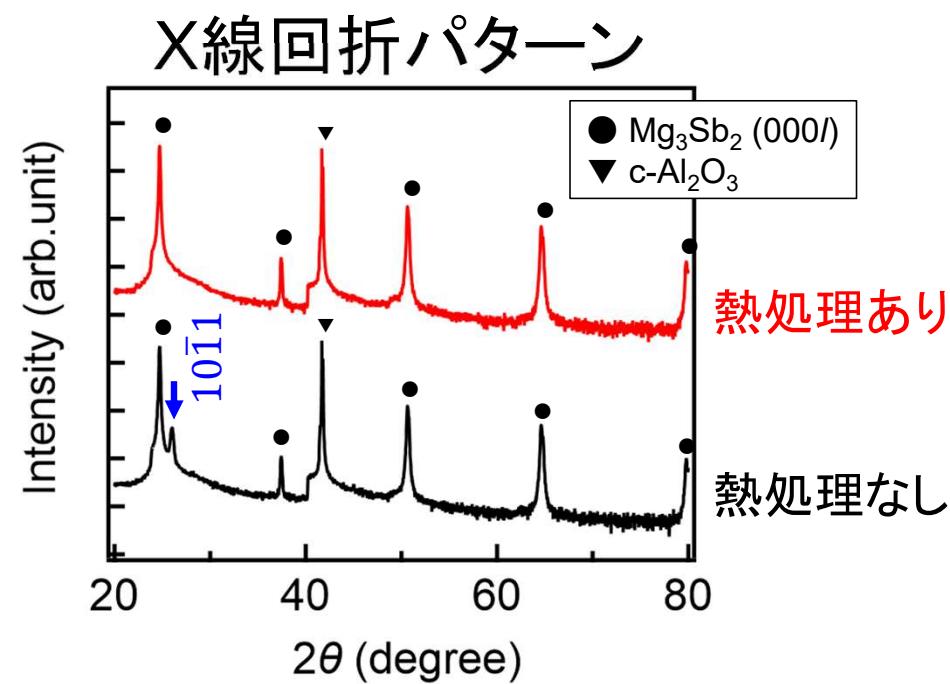
これまでの成果

サファイア基板上へのエピタキシャル Mg_3Sb_2 薄膜

サファイア基板を大気下 1000°C 以上で熱処理し、その後分子線エピタキシー法により成膜することで、完全に結晶方位のそろった薄膜の形成に成功。



A. Ayukawa, et al.,
Appl. Phys. Express 17, 065501 (2024).

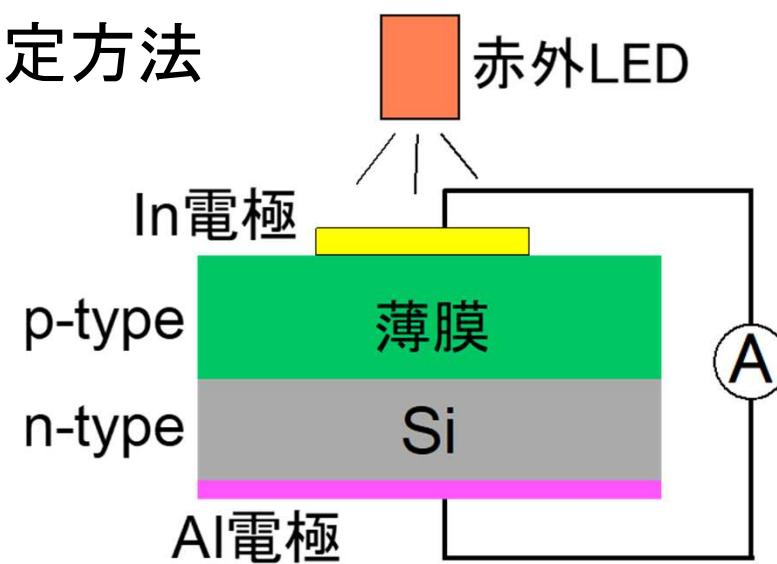


新技術の進展状況

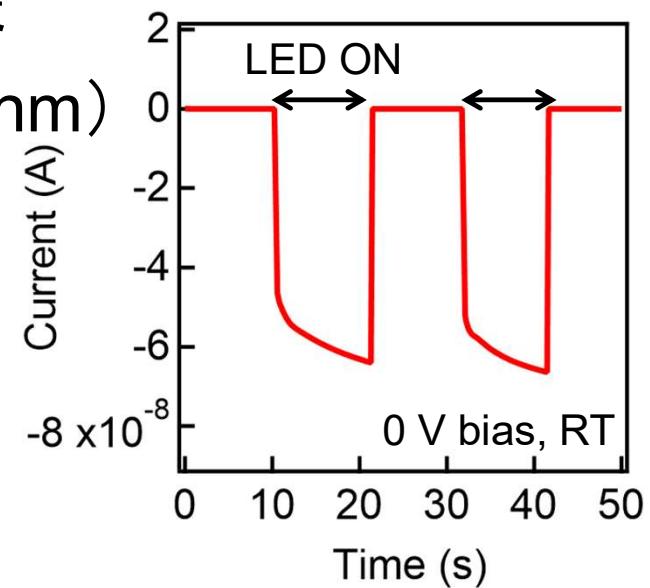
Si基板上Mg₃Sb₂薄膜のエピタキシャル薄膜作製

- 分子線エピタキシー法により、Si基板上へMg₃Sb₂薄膜のエピタキシャル成長（結晶方位のそろった薄膜の作製）に成功。
- 室温で赤外光応答を示すことを実証。

測定方法



光応答
(1450nm)



従来技術との比較

項目	従来技術	本技術
センサー材料	InGaAs, HgCdTeなど (高価・希少)	$Mg_3(SbBi)_2$ (安価・豊富)
コスト	高コスト	圧倒的な低成本化
製造プロセス	複雑(ハイブリッド)	簡便(モノリシック)
検出帯域	波長ごとに 別材料が必要	单一材料で広帯域 (SWIR～LWIR)
Si-CMOS親和性	低い	高い

本技術がもたらすインパクト

市場へのインパクト

- ・赤外線センサーの**価格性能比を劇的に向上させ**、コストが障壁であった巨大市場への普及を加速。
- ・自動車、民生機器、ドローン等の市場を革新し、**数兆円規模の新市場創出が期待される**。

※2030年の赤外線検出器市場の規模(予測) : 16.9億米ドル

社会へのインパクト

- ・**安全・安心**: 自動運転の高度化、夜間の自動監視、防災・減災に貢献。
- ・**産業・生産性向上**: 製造ラインや農作物の管理を高度化。
- ・**健康・ヘルスケア**: 非接触での体調観察を可能にする。

想定される用途①

モビリティ・インフラ監視

- ・自動運転・ADAS夜間や悪天候でも明瞭な画像認識により、
道路状況等を正確に把握。
- ・インフラ・農地・防災ドローン等を活用し、夜間の**インフラ自動監視**、河川や港湾の**防災監視**を可能にする。
- ・セキュリティ住宅や重要施設の**夜間監視**、**侵入者検知システム**の高機能化に貢献。

想定される用途②

産業・農業

- ・設備・プラントモニタリング製造・発電プラント等の設備の異常発熱を検知し、**安定稼働を支援**。
- ・製造ラインモニタリング工場の製造ラインにおける**品質管理**や**プロセス最適化**に活用。
- ・スマート農業農作物の育成状況、鮮度、糖度等の非破壊センシングにより**生産性向上**に貢献。

想定される用途③

民生機器・ヘルスケア

- ・スマートフォン・AR/VRグラスに搭載し**周囲空間(距離、サイズ)**や**環境(湿度、温度、CO₂濃度等)**の認識に活用。
- ・ヘルスケア・見守り非接触での**体調モニタリング**(血流、脈拍等)により、**運転・介護・保育時の見守り**に貢献。
- ・美容肌、髪、歯などの状態を可視化し、**パーソナライズされた美容ソリューション**を提供。

実用化に向けた課題

材料・プロセスの最適化

- ・ デバイス性能を最大化するための、高品質な $Mg_3(SbBi)_2$ 薄膜の成膜技術と、組成比の精密制御技術の確立。

量産化技術の構築

- ・ 研究室レベルの分子線エピタキシー法から、大量生産に適した簡便な製造プロセスへの展開。

デバイス化・モジュール化

- ・ Si-CMOS読み出し回路との高効率な集積化技術と、実用的なセンサーモジュールの設計・開発。

社会実装への道筋

～3年：基礎技術の確立

材料・プロセスの最適化を完了し、基礎原理を解明。

～10年：特定用途への展開

センサー・メーカー等と連携し、特定用途（自動車、セキュリティ等）への搭載を目指した開発を推進。

10年～：グローバル市場への本格展開

自動車や民生機器など、世界規模の巨大市場への本格展開。

企業への期待

半導体メーカー様へ

- Si-CMOS回路との集積化技術、量産化に向けた製造プロセスの共同構築。

センサーメーカー様へ

- 各用途に最適化されたセンサモジュールの共同設計・開発。

製造装置・材料メーカー様へ

- 量産に適した成膜方法や材料の最適化に関する連携。

企業への貢献、PRポイント

圧倒的なコスト競争力

- 既存のSi製造インフラの活用により、**赤外線センサーを低成本化**し、価格競争力を飛躍的に向上させる。

新市場の創出

- コストの壁を超え、民生分野へ赤外線技術を導入。**数兆円規模の新市場を共に開拓**する。

高い技術的親和性

- Siプラットフォーム技術であるため、**既存半導体技術とスムーズな連携**が可能。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : Mg₃Sb₂薄膜の製造方法、Mg₃Sb₂薄膜
- 出願番号 : 特願2024-031107
- 出願人 : 茨城大学
- 発明者 : 坂根駿也、鶴殿治彦、鮎川瞭仁

- 発明の名称 : 半導体装置及びその製造方法
- 出願番号 : 特願2024-153936
- 出願人 : 茨城大学
- 発明者 : 坂根駿也、鶴殿治彦、切通望

お問い合わせ先

茨城大学
研究・产学官連携機構

TEL : 0294-38-7451
e-mail : iric@m1.ibaraki.ac.jp