

# 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、単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「 $\text{Mg}_3(\text{SbBi})_2$ 」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コスト化・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

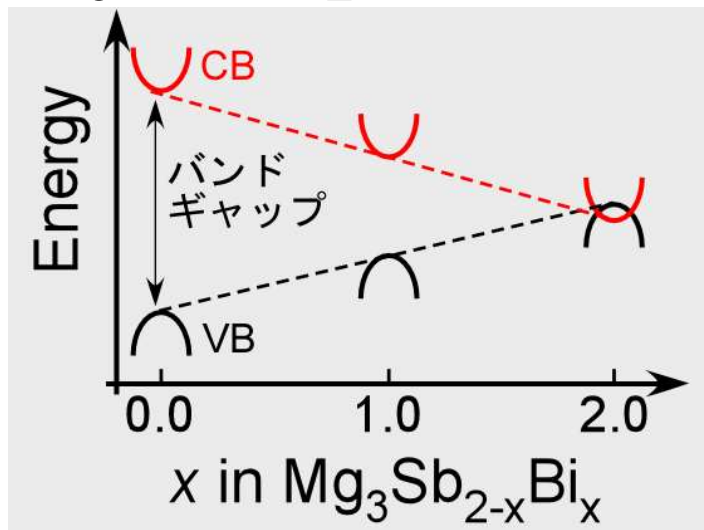
- SWIR・MWIR・LWIRなど、**波長帯ごとに異なる材料が必要**。
- 広帯域化には**複数センサーの組み合わせが必須**であり、システムの大型化・複雑化を招く。

## 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「 $\text{Mg}_3(\text{SbBi})_2$ 」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

### $\text{Mg}_3(\text{SbBi})_2$ の電子状態



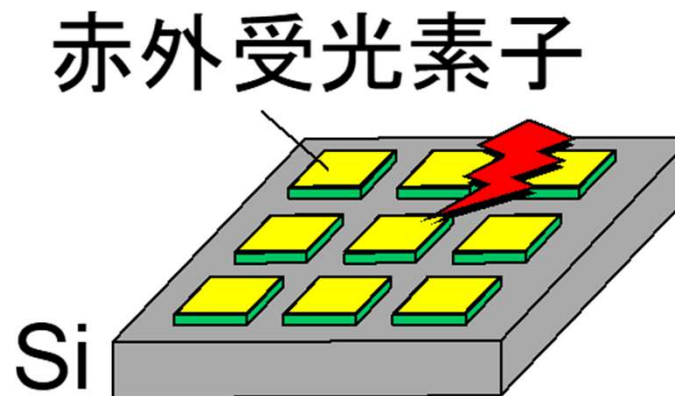
アンチモン(Sb)とビスマス(Bi)の組成比を変えるだけで、バンドギャップの連続的な制御が可能。

→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コスト化

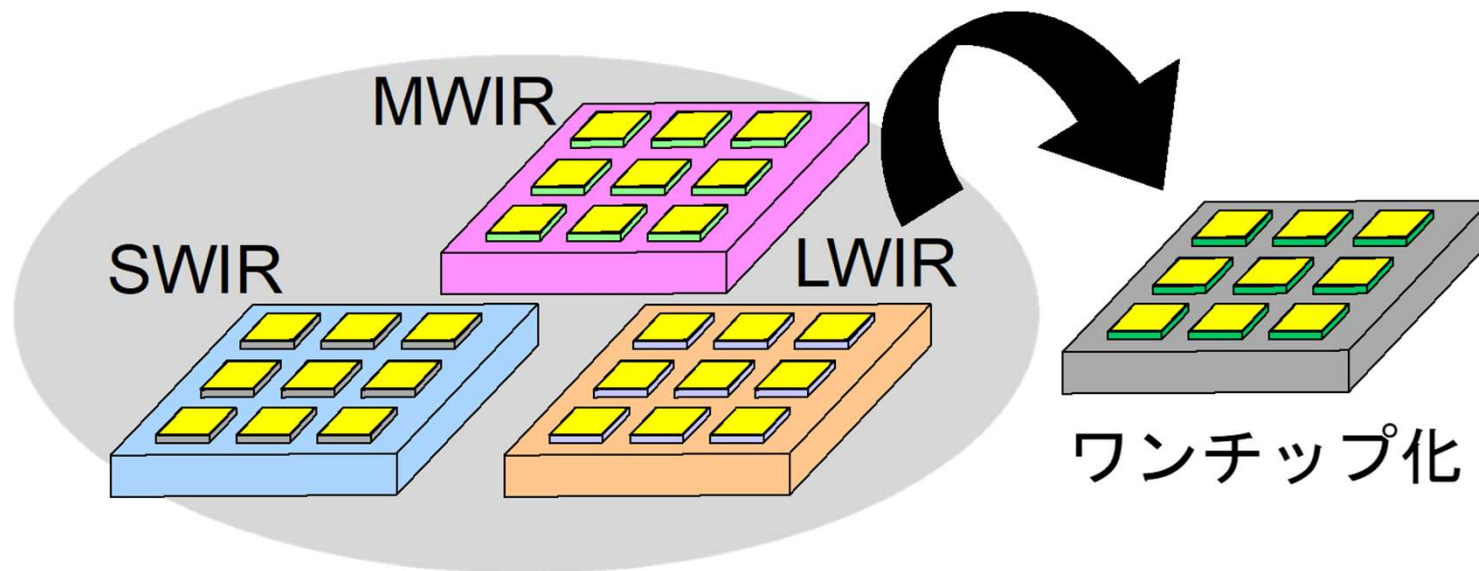
- 安価・大面積のSi基板上に直接成膜が可能。
- Si-CMOS回路との一体化(モノリシック化)が容易であり、製造プロセスを簡略化し、劇的なコストダウンを実現。
- 既存のSi半導体製造インフラの活用により、優れた大量生産性を有する。



## 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。

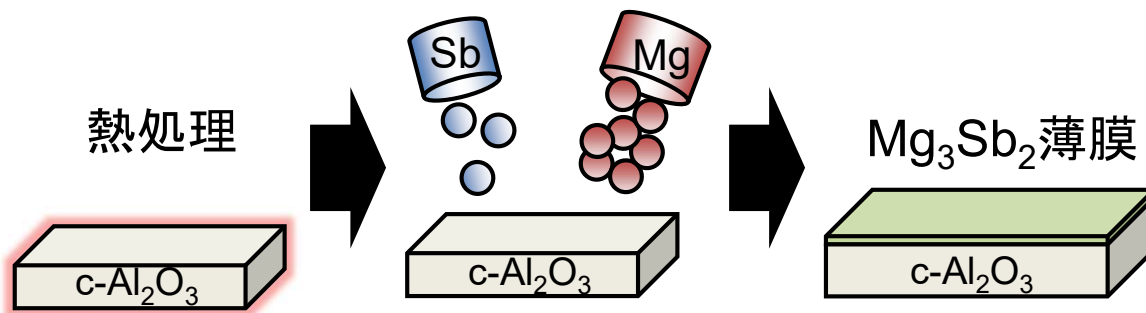




## これまでの成果

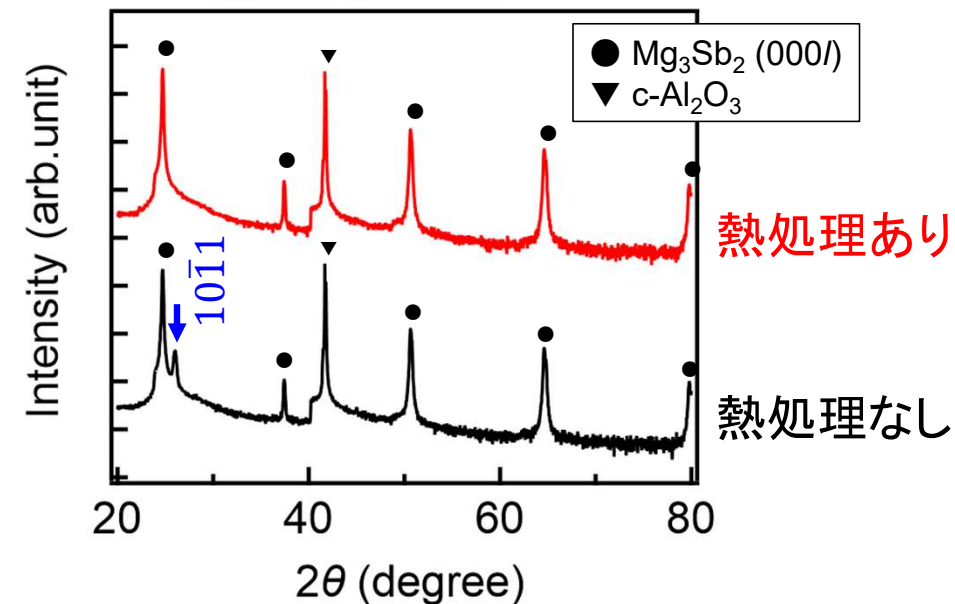
### サファイア基板上へのエピタキシャル $\text{Mg}_3\text{Sb}_2$ 薄膜

サファイア基板を大気下 $1000^\circ\text{C}$ 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).

### X線回折パターン

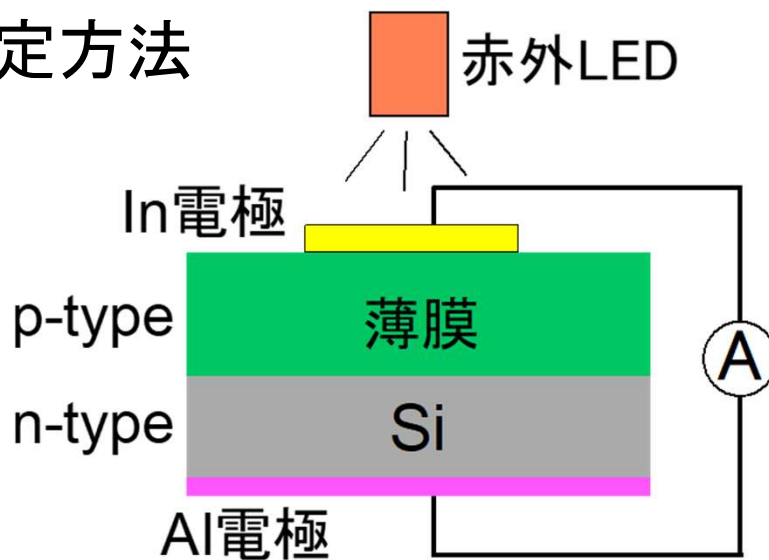


## 新技術の進展状況

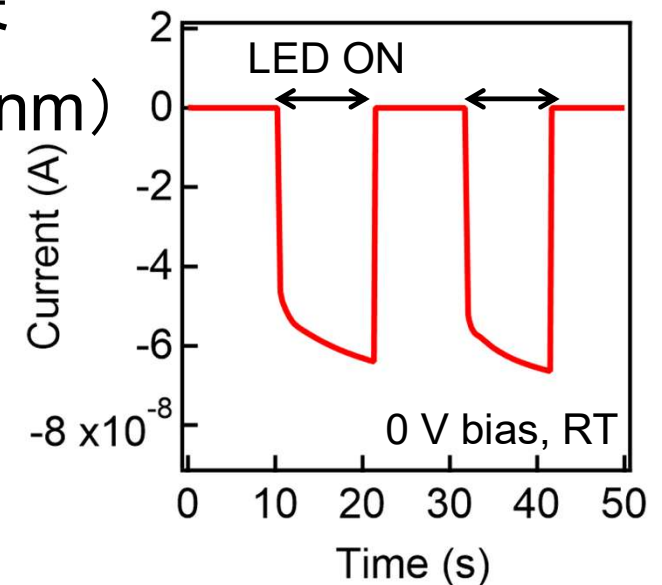
### Si基板上 $\text{Mg}_3\text{Sb}_2$ 薄膜のエピタキシャル薄膜作製

- 分子線エピタキシー法により、Si基板上へ $\text{Mg}_3\text{Sb}_2$ 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)	$\text{Mg}_3(\text{SbBi})_2$ (安価・豊富)
コスト	高コスト	圧倒的な低コスト化
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	単一材料で広帯域 (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、CO<sub>2</sub>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 $\text{Mg}_3(\text{SbBi})_2$ 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ー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コスト化**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 : Mg<sub>3</sub>Sb<sub>2</sub>薄膜の製造方法、Mg<sub>3</sub>Sb<sub>2</sub>薄膜
  - 出願番号 : 特願2024-031107
  - 出願人 : 茨城大学
  - 発明者 : 坂根駿也、鵜殿治彦、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、鵜殿治彦、切通望

# お問い合わせ先

茨城大学  
研究・産学官連携機構

T E L : 0294-38-7451

e-mail : [iric@ml.ibaraki.ac.jp](mailto:iric@ml.ibaraki.ac.jp)