

高感度マグネシウムシリサイド 短波長赤外線センサー

茨城大学 大学院理工学研究科 電気電子システム工学科 教授 鵜殿 治彦 2022年11月11日

1



社会が要請するサービスの進化



センサが重要 ⇒ 短波長赤外(SWIR)センサに注目



短波長赤外(SWIR)の特徴

- 波長 0.9~2.5µmの赤外線
- 人には見えない、アイセーフ波長帯(1.4 µm~)
- 低照度下でも高い視認性
- ・ プラスチックを透過、生体も比較的透過、H₂Oの吸収帯





短波長赤外(SWIR)センサの問題点



現状の~1/1,000の価格 10,000倍の量産性が必要



新たな赤外センサ材料 Mg,Siに注目

- 原料が豊富で安価
- 基板結晶が利用可能
- シリコンプロセスとの親和性



マグネシウムシリサイド Mg₂Si の基本物性



0.54 0.56 0.58

0.6

Lattice constant a (nm)

0.62 0.64 0.66 0.68 0.7

Udono et al., Jpn.J.Appl.Phys. 54 (2015) 07JB06.
 Y. Imai and A. Watanabe, Intermetallics 10(2002)333.
 T.B.Massaki et al., Binary Alloy Phase Diagrams, 2nd (1990)



資源·環境面から見たMg₂Siの魅力



- ◎ 資源量が豊富、低コスト
- ◎ RoHS対応
- ◎ 良好な安定性

大量消費可能な半導体材料

クラ <i>ー ク</i> 数 順位	元素	地殻中濃度 (ppm)	暴露限界TLV * (mg/m ³)
2	Si	27.7 x 10 ⁴	10
4	Fe	5.0 x 10 ⁴	- (5: Fe ₂ O ₃)
5	Ca	3.6 x 10 ⁴	-
8	Mg	2.1 x 10 ⁴	- (10: MgO)
12	Mn	950	0.2
14	Ba	425	0.5
15	Sr	375	0.5
21	Cr	100	0.05(六価Cr)
34	Pb	13	0.1
49	As	1.8	**0.3x10 ⁻³
>50	Sb	0.2	0.1
>50	Cd	0.2	0.05
>50	Se	0.05	0.1
>50	Те	0.01	0.1

*産業衛生学雑誌51(2009)98

**発がんリスクレベル



開発した新技術の全体像



Mg₂Si の結晶・基板・センサ・特性評価の 全工程を研究室内で開発



Mg₂Si 結晶成長 ~高品質化への取り組み~

- 垂直ブリッジマン法
 - Ar=460 Torr @RT(成長時約3気圧)
- ・ ルツボ材
 - BN-アルミナ
 - PG-カーボン
 - pBN, BN, BN-pBN
- 原料(Mg:Si=2:1)
 - Mg (5N or 6N), Si (10N grade)
- 融点 T_M=1085°C
- 昇温+溶融 2-3h



Tamura, Udono et al., Thin Solid Films, 515(2007)8272 Udono et al., Jpn.J.Appl.Phys. 54 (2015) 07JB06 鵜殿, サーマルマネージメント 2-4-1.1 (2013) NTS.



PG/pBNルツボでのMg₂Si 結晶の成長



Tamura, Udono et al., Thin Solid Films, 515(2007)8272 Udono et al., Jpn.J.Appl.Phys. 54 (2015) 07JB06



PG/pBNルツボでの固着による小傾角粒界の問題

PG-graphite crucible



H. Udono et al., Jpn.J.Appl.Phys. 54 (2015) 07JB06

Y. Fuse, H. Uodno et al., APAC-Silicide 2019, Miyazaki. 布施雄太郎, 茨城大学大学院理工学研究科 修士論文2020.



各種ルツボの濡れ性と小傾角粒界の観察結果



品 山⇒濡れ性が<mark>悪い⇒ 固着しない</mark> 凹⇒濡れ性が良い 固着



Y. Fuse, H. Uodno et al., APAC-Silicide 2019, Miyazaki. 布施雄太郎, 茨城大学大学院理工学研究科 修士論文2020.



BNコートpBNルツボによる固着抑制に成功







X線ロッキングカーブ測定

#1 -

#2

#3

50

100

R.Masubuchi, H.Udono et al., J. Crystal Growth, 571 (2021) 126258.



φ18 mm 高品質Mg₂Siウエハ





Mg₂Si結晶の大型化(2インチ結晶)



T. Umehara, H. Uodno et al., APAC-Silicide 2022, Online.



Mg₂Si pn接合フォトダイオード(PD)の開発



H. Udono et al., J.Phys.Chem.Sol., 74 (2013) 311.

鵜殿治彦 応用物理 88(2019)797.



開発したMg₂Si-PDの構造と受光感度の変遷



鵜殿治彦 応用物理 88(2019)797.



Mg₂Si-PD受光感度とその向上



理想的なMg₂Si-PDの受光感度予測^{*}

*鵜殿治彦 レーザー研究 (2022).

受光感度の計算式^{*}
$$I_{\lambda} = (1-R) \frac{\lambda}{1240} \left(1 - \frac{e^{-\alpha W}}{1 + \alpha L_p} \right)$$

^{2021年試作の} Mg₂Si-PD



単素子で量子効率80%以上を達成 2021年JST-ASTEP成果

イメージセンサ要素技術を開発 2022-25年JST-ASTEP育成



従来技術とその問題点

非冷却のSWIR域赤外センサでは、InGaAsによるPDや イメージセンサが民生用途でも実用化されている。

- 受光層と同じ材質の基板が無い
- InP基板等への高品質成膜が必要
- 熱膨張係数差による欠陥が生成しやすい
- 歩留まりが低い、高価な成膜装置が必要
- 量産・低価格化が進んでいない

等の問題があり、広く利用されるまでには至っていない。



新技術の特徴・従来技術との比較

- 新規SWIR域センサ材料としてMg₂Siを提案。
- 高品質なMg₂Si結晶を実現し、簡易な熱拡散 プロセスで、SWIR域で量子効率80%以上の PDを開発した。
- Mg₂Si結晶の利用により、安価な基板とプロセスで製造できるため、赤外線センサの価格を 1/100程度に低減できることが期待される。



想定される用途

- LiDARなどの検出器
- 路面などの凍結の有無の検出
- ・プラスチックの種類の分類
- ・夜間の監視、観察
- 農作物など状態管理
- 非接触の体調観察などヘルスケア



実用化に向けた課題

- ・受光感度は、実用レベルの量子効率80%以上 を実現済み。しかし、高感度なセンサ用途では 暗電流の低減が必要である。
- 結晶品質を改善し、キャリア寿命に起因する暗 電流の低減を行っていく。
- ・イメージセンサ化の要素技術は現在開発中
- 量産化に向けたMg₂Si結晶の大口径化、基板 加工、デバイスプロセスの確立も必要。





- Mg₂Si結晶の大口径化、センサの高感度化は 開発技術の進化で克服できると考えている。
- 基板加工の技術、デバイス(PD,イメージセン サ)製造技術を持つ企業との共同研究を希望。
- また、SWIR域の赤外線センシング分野への 展開を考えている企業には、本技術の導入が 有効と思われる。



本技術に関する知的財産権

- ・発明の名称: Mg₂Si単結晶体、Mg₂Si単結晶基板、
 赤外線受光素子及びMg₂Si単結晶体の製造方法
- •出願番号:PCT/JP2021/007223
- 国際公開番号: WO 2022/064735
- •出願人 :茨城大学、JX金属
- 発明者 :鵜殿治彦、朝日聰明



産学連携の経歴(過去5年)

- 2017年-2018年 JST JST地域産学VP事業に採択
- 2019年-2021年 NEDO 先導研究・エネ環事業に採択
- ・ 2021年-2022年 JST A-STEP育成(補正)事業に採択
- 2022年-2025年 JST A-STEP育成事業に採択

多数の企業との共同研究の実施実績有り



お問い合わせ先

茨城大学 研究・産学官連携センター(日立オフィス) 知財担当

- TEL 0294-38-7281
- FAX 0294-38-5240

e-mail chizai-cd@ml.ibaraki.ac.jp