宇宙遠赤外線観測のための
新しいGe $p^+ - i$接合素子の波長感度特性の評価

〇木幡洸大、服部和生、田中琴未、金田英宏、大藪進喜 (名古屋大学) 、和田武彦、鈴木仁研 (ISAS/JAXA) 、渡辺健太郎 (東京大学)

これまで、宇宙観測用遠赤外線検出器にはバルク型Ge:Ga素子が広く用いられてきた。これに対して、検出波長カバレッジ・耐宇宙放射線性能・応答速度などを向上させる新しい素子としてBlocked Impurity Band (BIB) 型Ge:Ga素子の開発が進められている。これは受光層となる高濃度Ge:Ga (p^+ 層) と暗電流をブロックする高純度Ge (i 層) の接合構造となっている。

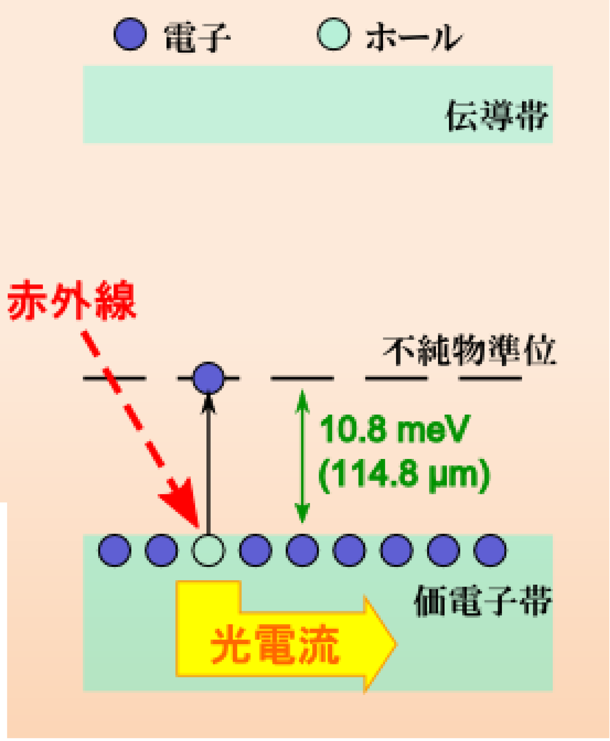
我々は表面活性化常温ウェーハ接合技術を用いて、上記BIB型素子と同等の構造をもつ$p^+ - i$ 接合素子を作製し、基本動作特性や波長感度特性などの評価を行ってきた。本発表では、i 層の厚みやp^+ 層の不純物濃度の違いによる波長感度特性の変化の研究成果を報告する。

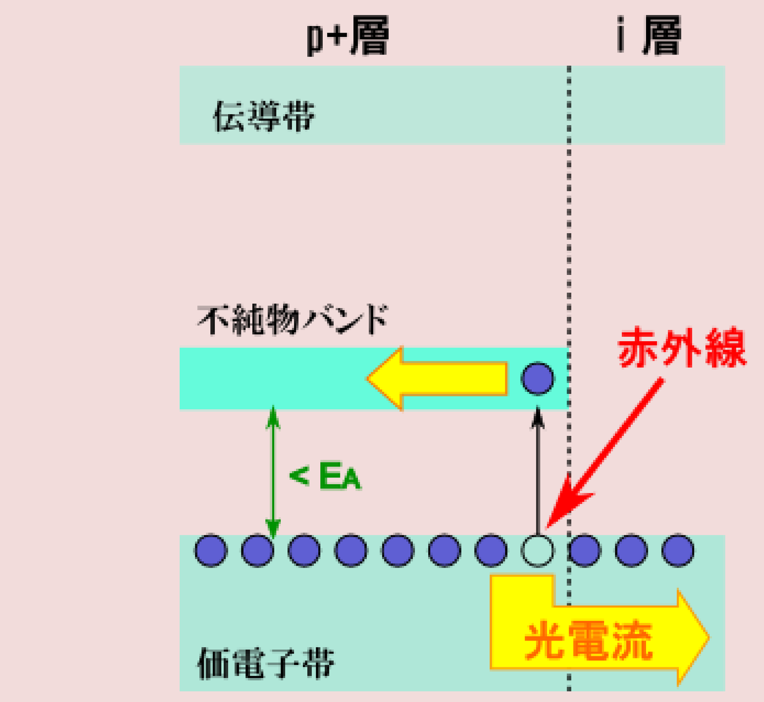
研究目的

◆ 従来型Ge:Ga素子 (赤外線天文衛星「あかり」などに搭載)

- 半導体の不純物準位と価電子帯のエネルギーギャップを利用し、遠赤外線を検出
- 典型的なGaドープ量は $2 \times 10^{14}\ \mathrm{cm}^{-3}$
- 機械的圧縮により最大検出波長が伸びる (~210 μm)

⇒ 圧縮機構を要するため、大型アレイ化が困難





※受光層は接合面付近に形成される

◆ BIB型Ge:Ga素子

高ドープGe:Ga (p^+層) ＋ **高純度Ge (i 層)**

☆表面活性化常温ウェーハ接合技術

(三菱重工業株式会社提供)

常温での接合によって、接合面の急峻な濃度勾配が実現

特徴

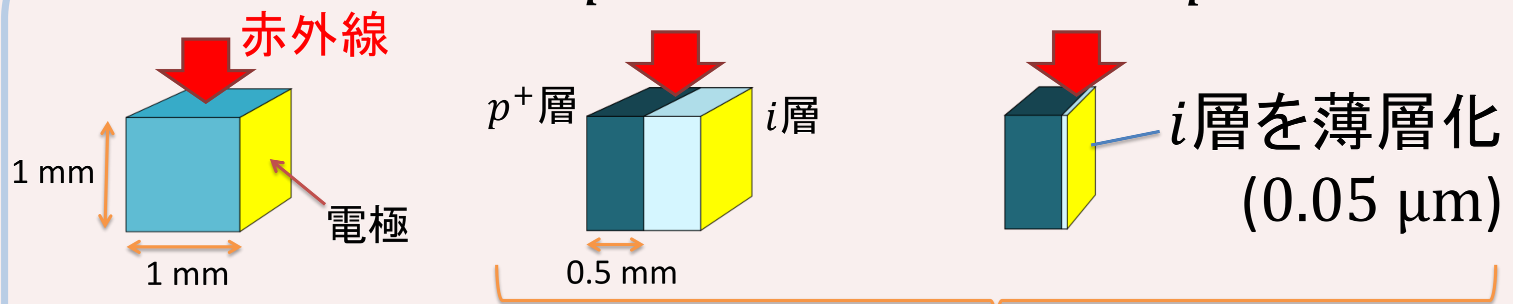
- 高ドープによる不純物バンドの形成によって検出波長が長波長側に伸びる
- 不純物バンドによる暗電流 (ホッピング電流) は高純度層によって遮断

研究目的 : 検出器として利用するために、素子の電気特性・光応答特性を理解する

試験結果

測定素子

◆ 従来型　◆ $p^+ - i$型　◆ 薄層化$p^+ - i$型



Ge:Ga

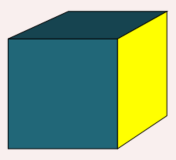
Ga濃度

$2 \times 10^{14}\ \mathrm{cm}^{-3}$

Ge:Ga (Ga濃度$1 \times 10^{16}\ \mathrm{cm}^{-3}$)

＋ 高純度Ge

◆ 高ドープバルク型



Ge:Ga

Ga濃度

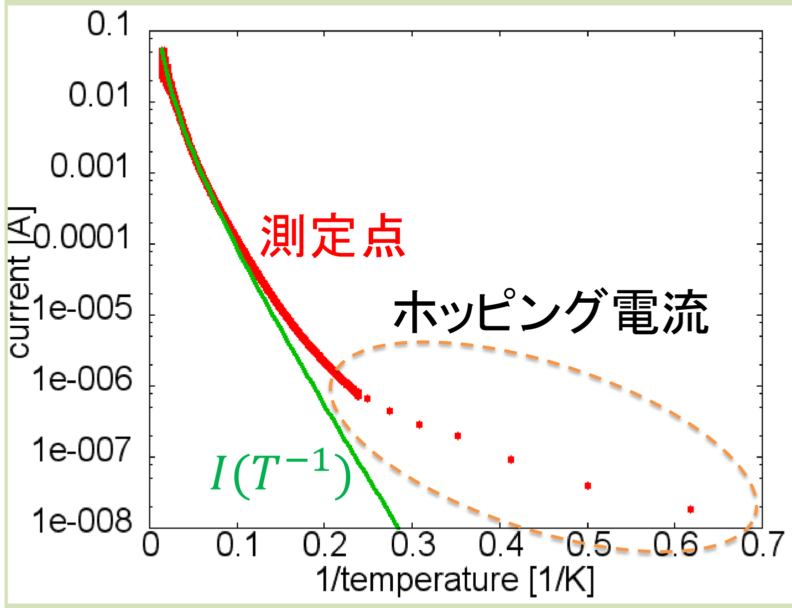
$1\times 10^{16}\ \mathrm{cm}^{-3}$

素子はハウジングにセット。

目的に応じてクライオスタットを選択し、ハウジングを設置。

熱電流

定電圧下で高ドープGe : Gaに流れる電流値の温度依存性から、不純物深さ (価電子帯と不純物準位のエネルギーギャップ)を導出



熱電流を表す式

$$I = I_0 T^{\frac{3}{2}} \left\{ \sqrt{{N_D}^2 + 4N_A \left(\frac{2\pi m_h{}^* kT}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{E_A}{kT}\right)} - N_D \right\}$$

N_D　マイナー不純物濃度　　k　ボルツマン定数

N_A　アクセプター不純物濃度　　h　プランク定数

$m_h{}^*$　ホール有効質量　　E_A　不純物深さ

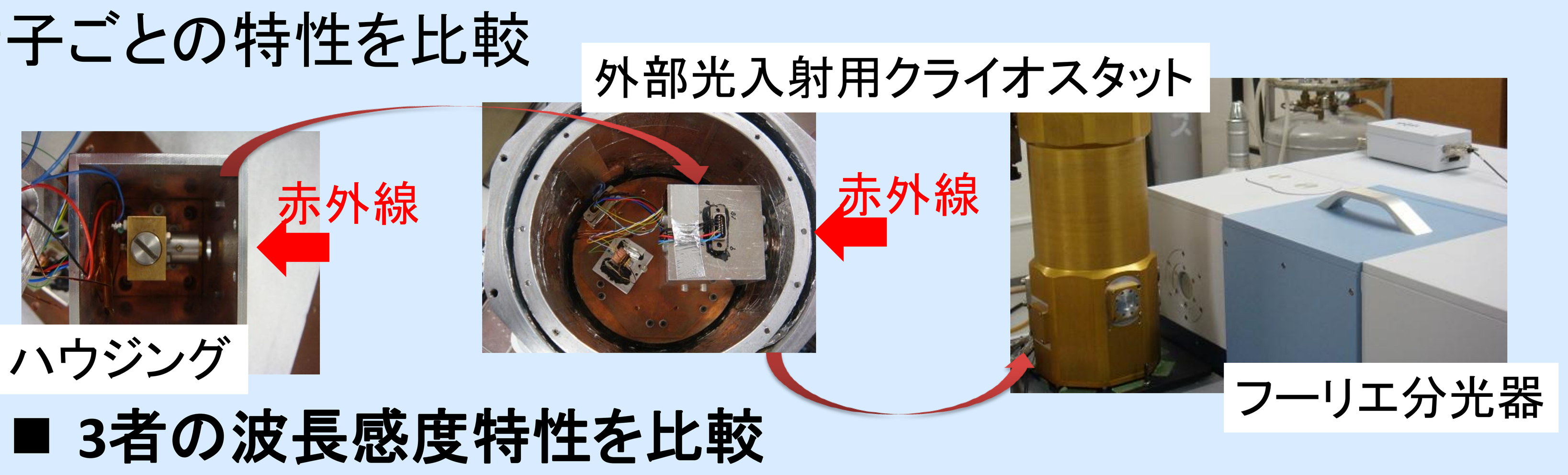
⇒ E_A~7.5 meV

熱電流から求まるカットオフ波長 : 165 μm

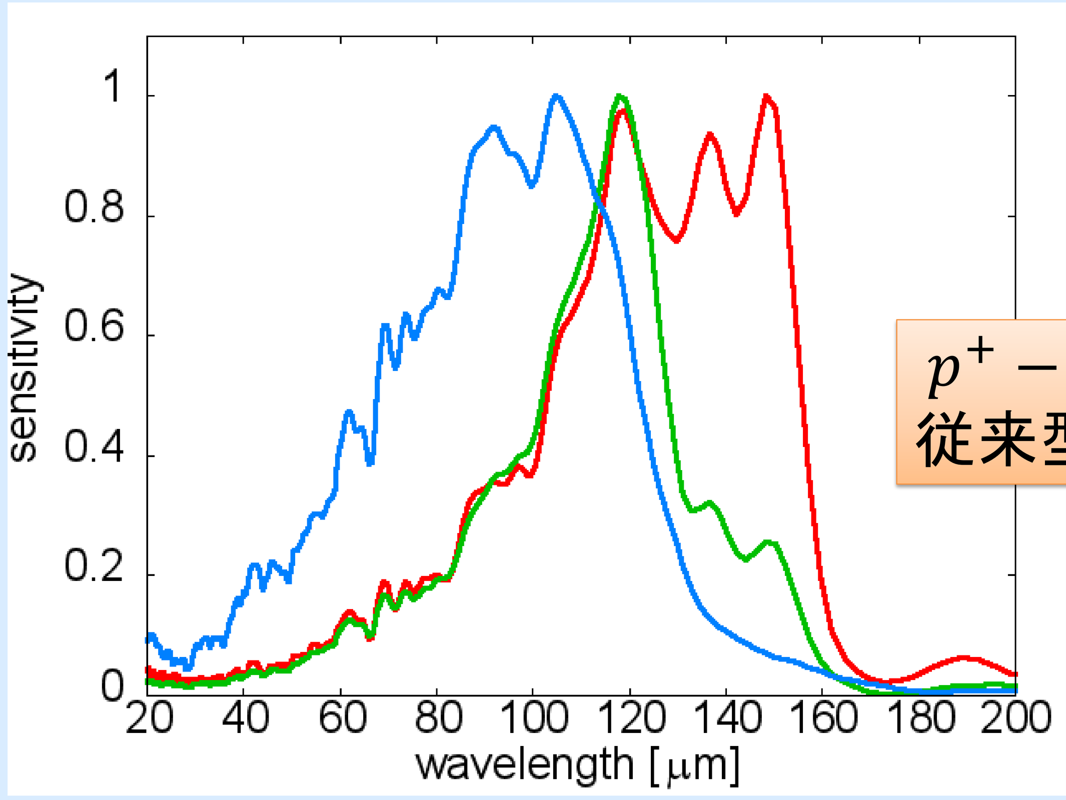
波長感度特性

フーリエ分光器の光を入射し波長感度特性を取得

素子ごとの特性を比較



■ 3者の波長感度特性を比較



従来型素子 (2.8 K)

$p^+ - i$型素子 (2.8 K)

薄層化$p^+ - i$型素子 (3.5 K)

※ピーク値で規格化

$p^+ - i$型素子では最大検出波長が従来型よりも長波長側に伸びている

135 μm、145 μmピーク

⇒Gaイオンを水素様原子近似

135 μm :　$n = 1 \rightarrow 3$遷移

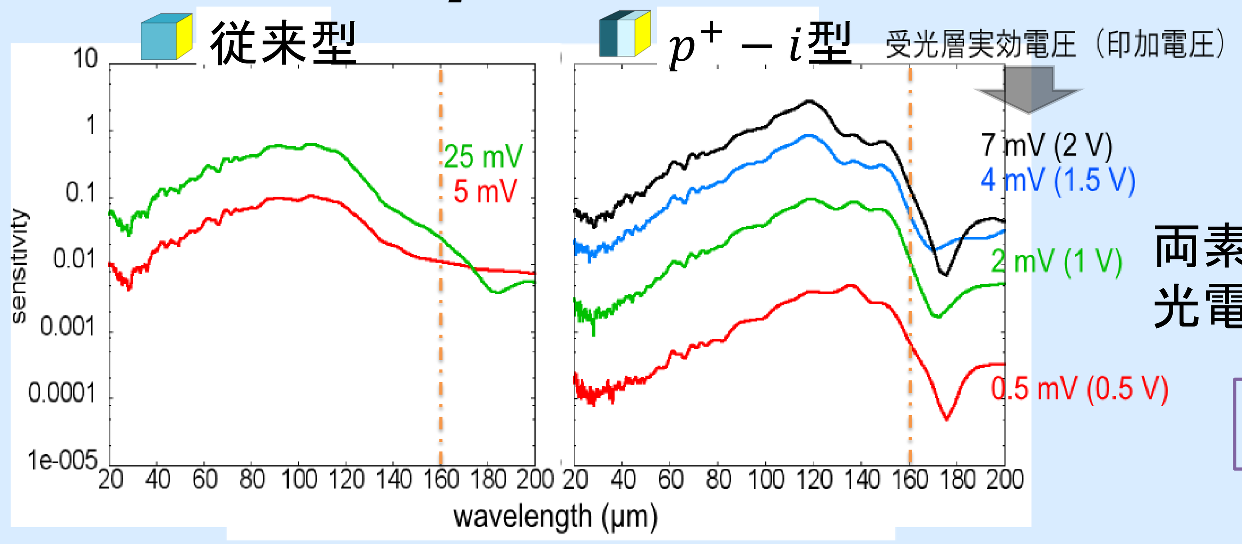
145 μm :　$n = 1 \rightarrow 2$遷移

- $p^+ - i$型素子の薄層化によって各ピークの波長に変化なし
- i層の薄層化で接合面にかかる電圧が増加し、受光層が拡張

⇒ 長波長感度が相対的に増加

カットオフ波長 : 165 μm

■ 従来型素子と$p^+ - i$型素子を比較



両素子とも同じ条件で測定

光電流の絶対値比較

感度は同程度

カットオフ波長の長波長化には

① p^+層の高濃度化

② i層の薄層化 (受光層の拡張) が重要

今後の予定

- ドープ量をさらに増加した素子の波長感度特性の評価
- 照射方向による波長感度特性の比較
- 各層の透過率曲線との比較

参考文献

- Kaneda, H., et al. 2011, Japanese Journal of Applied Physics, 50, 066503
- Takagi, H., Kikuchi, K., Maeda, R., Chung T., and Suga T., 1996, Applied Physics Letters 68, 2222
- Takagi, H., and Maeda, R., 2006, Journal of Crystal Growth 292, 429
- Wada, T., et al. 2010, IRMMW-THz (DOI:10.1109/ICIMW.2010.5612570)
- Watanabe, K., et al. 2011, Japanese Journal of Applied Physcs, 50, 015701