

新しい遠赤外線検出素子開発—BIB 型 Ge:Ga の性能評価

名古屋大学 理学研究科 素粒子宇宙物理学専攻
宇宙物理研究室 赤外線グループ 修士 1 年
木幡 洸大

1 遠赤外線検出器

1.1 従来型検出器の検出原理と問題点

現在、宇宙観測用の遠赤外線検出器の受光素子としては Ge に Ga をドーブした p 型の不純物半導体である Ge:Ga が広く用いられている。この半導体のバンド構造の概略図を示すと図 1 の左図のようになる。



図 1 検出原理の概略図。左図が従来型 Ge:Ga、右図が BIB 型 Ge:Ga 検出器。

Ga をドーブ^{*1}することで禁制帯中に不純物準位が形成されるため、この不純物準位と価電子帯のエネルギー差よりも大きなエネルギーを持った光が入射することによって、価電子帯中の電子が不純物準位に励起される。このとき価電子帯にはホールが生成されるが、素子にバイアス電圧によってホールの流れを光電流として読みだすことで遠赤外線を検出することができる。最大検出波長は不純物準位と価電子帯のエネルギー差で決まっている (Ge:Ga の場合は $\sim 115 \mu\text{m}$) のだが、素子を加圧することによってこのエネルギー差が小さくなる性質を利用して、2006 年に打ち上げられた赤外線天文衛星「あかり」の遠赤外線観測装置 FIS では最大で $200 \mu\text{m}$ まで観測を行っていた。

しかし逆に検出波長を伸ばすためには加圧機構が必要となるため、大規模アレイ化が困難となっている^{*2}また宇宙放射線による感度異常や、信号の遅れが見られる過渡応答特性なども問題視されている (図 2、図 3)。

1.2 BIB 型検出器

上記の問題点を克服するための素子として Blocked Impurity Band (BIB) 型 Ge:Ga 検出器の開発が進められている。この素子は従来型よりもさらに不純物濃度を増した^{*3}高ドーブ層と、純度の非常に高い^{*4}ブロッ

*1 Ga 濃度 $2 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 。

*2 あかり FIS の長波長チャンネル LW では 45 pixel。

*3 Ga 濃度 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上。

*4 Ga 濃度 $\sim \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ 以下。

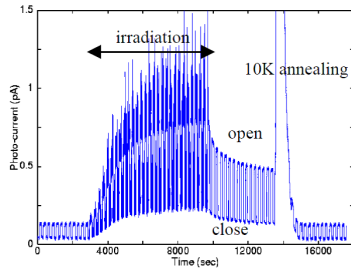


図 2 宇宙放射線による影響 [1]。縦軸は光電流量 (pA)、横軸は時間 (sec) を表す。時間、約 3500 sec から約 9000 sec まで放射線を照射。放射線照射中の以上出力に加えて、照射を止めた後も感度異常が続いている。この感度異常は一時的に素子の温度を上げる annealing 操作によって回復させている。

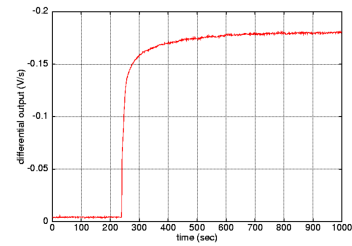


図 3 過渡応答特性。縦軸が出力 (V/s)、横軸は時間 (sec) を表す。時間、約 240 sec から赤外線入射を開始。理想的にはステップ関数的な応答を示すことが期待されているが過渡応答特性のため、ある時定数をもった応答の遅れが見られる。

ク層を張り合わせた構造^{*5}となっている。BIB 型 Ge:Ga のバンド構造の概略図は図 1 の右図のようになる。

まず Ga を高ドーピングすることによって、不純物準位が幅をもった不純物バンドを形成するようになる。すると不純物バンドと価電子帯のエネルギー差が低ドーピング時と比べて小さくなるため、加圧することなく長波長側に感度を伸ばすことができると考えられている。さらに感度も向上し、従来型よりも受光層を薄くしても従来型と同等の感度を得ることができるため宇宙放射線ヒットの確率を減らすことができる。また、過渡応答の時定数が小さくなることも期待されている。

しかし上記のような不純物バンドが存在すると、不純物バンド内の電子遷移による電気伝導 (ホッピング電流) が発生してしまい、暗電流源となってしまう。ここで高純度のブロック層を接合させ、特定の方向にバイアスをかけることによってホッピング電流を遮断することができるのである。

以下では BIB 型素子がホッピング電流を防いでいるか、感度波長は長波長側に伸びているか、の 2 点に焦点を当てる。

2 試験結果

本公演で紹介した結果の測定素子を表 1 にまとめる。

素子	size
① 従来型 Ge:Ga	Ga 濃度 10^{14}cm^{-3} 1mm 角
② 高ドーピング Ge:Ga	Ga 濃度 10^{16}cm^{-3} 1 mm 角
③ BIB 型	高ドーピング Ge:Ga 0.5 mm 角 + 高純度 Ge 0.5 mm 角
④ BIB 型	高ドーピング Ge:Ga 0.5 mm 角 + 高純度 Ge 0.05 mm 角

2.1 遠赤外線実験に関して

いま興味のある遠赤外線波長帯 ($50\mu\text{m} \sim 200\mu\text{m}$) では、この波長以下の放射を出す熱源 (14 K 以上) が存在するとノイズ源となってしまう。そのため測定素子の周囲の温度を極低温に下げることが必要である。そこで測定

^{*5} 接合には三菱重工株式会社を持つ表面活性化常温ウエハ接合技術が用いられている。

には図 4 左図のようなクライオスタットと呼ばれる真空冷却容器を使用する。冷媒として液体 He を使用し、また He タンクを減圧することによってクライオスタット内の素子温度は最低で 1 K まで冷却することができる。

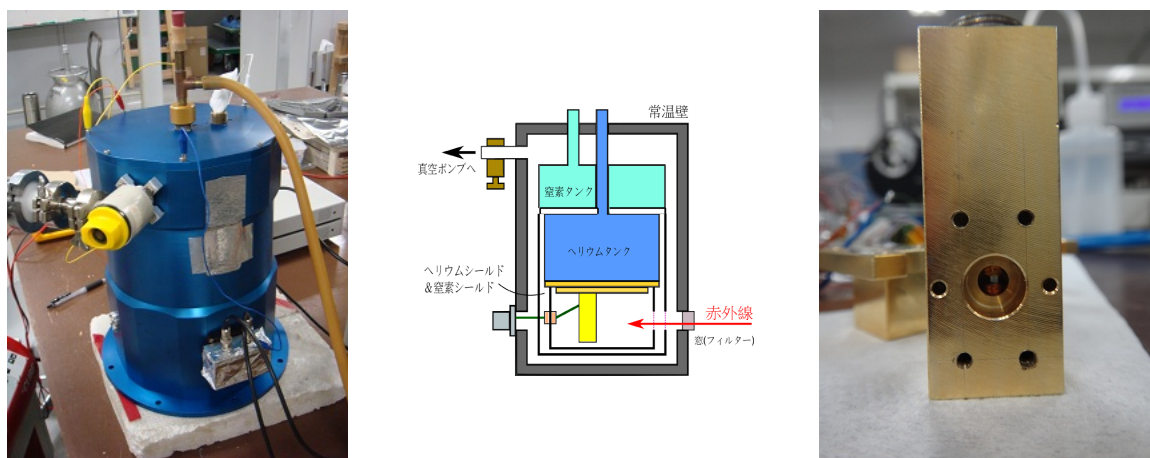


図 4 左からクライオスタット、クライオスタット概略図、ハウジングの図。素子はハウジングにインストールした後、クライオスタット内に設置する。

2.2 電流-電圧特性

電流-電圧特性 (I-V 特性) とは素子に対しある電圧をかけた時にどれだけの電流が流れるかを表したもので、素子の電気伝導性を知るうえで基本となるデータである。傾きは素子抵抗の逆数となっており、傾きが大きいほど素子の電気伝導性が高いことを示している。高ドープ素子 ② と BIB 型素子 ③ に対して温度 3 K での測定結果を比較したものが図 5。

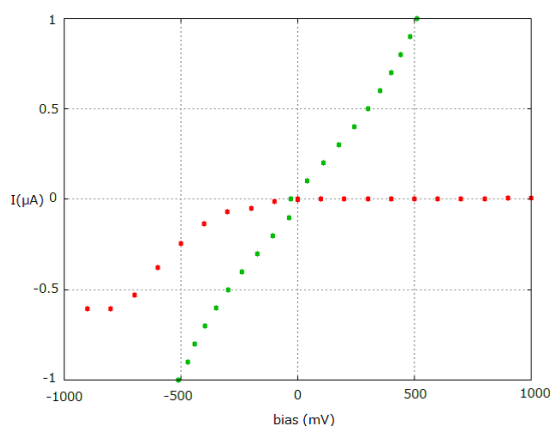


図 5 I-V 特性。緑点が ②、赤点が ③ の結果。縦軸が電流 (μm)、横軸が電圧 (mV)。

BIB 型素子では高ドープ層とブロック層の接合による整流性が見られる。検出器動作バイアスである正バイアスでの両者の電気伝導性を比較すると、高ドープ Ge:Ga に対し BIB 型素子では非常に小さな電気伝導性 (3 桁以下) であることがわかる。他の測定結果からこの温度帯での高ドープ Ge:Ga の電気伝導は主にホッピング電流が担っていることが分かっているため、この結果から BIB 型素子では Block 層によってホッピング

電流が十分遮断できていることが分かる。

2.3 波長感度特性

続いて素子に対して FT-IR(フーリエ分光器) によって外部から遠赤外線を入射し、入射光の波長と素子の感度の関係を調査した試験の結果を示す。測定素子は従来型 ① と BIB 型 ④ である。図 6 から BIB 型素子

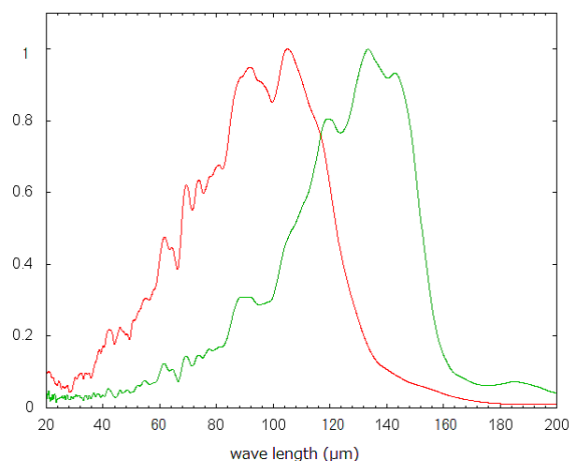


図 6 波長感度特性。赤線が ①、緑線が ④ の結果となっている。縦軸は感度をピーク感度で規格化したもの、横軸は波長 (μm) となっている。

では従来型よりもピーク波長・カットオフ波長ともに有意に長波長側に伸びていることが分かる。本試験では BIB 型素子の高ドープ層の不純物濃度として $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ のものを測定に使用したが、ドープ量をさらに増加させることによって 200 μm 以上の波長まで感度を持つことが期待されている。

3 まとめ

従来型の問題点を解決するための遠赤外線検出素子として開発が進められている、BIB 型 Ge:Ga の I-V 特性、波長感度特性を測定した。得られた I-V 特性では高ドープによって引き起こされると考えられているホッピング電流が BIB 型構造によって確実にブロックされていることが示された。また波長感度特性からは BIB 型素子が従来型と比較して、予測通り感度波長が優位に伸びていることがわかった。今後、さらに高ドープ層のドープ量を増した素子の試験を行い、最大検出波長がどの程度まで伸びるか調査し、従来型に対する BIB 型素子の優位性を示していきたい。

Reference

- [1] H. Kaneda et al. (2002) Advances in Space Research