

## 最近の技術から

# 100~200 μm 波帯遠赤外線に用いる高感度圧縮型半導体遠赤外線検出器

廣本宣久

郵政省通信総合研究所 〒184 小金井市貫井北町 4-2-1

### 1. まえがき

遠赤外線は、光と電波の境界にあたる波長 30~300 μm (周波数 1~10 THz) の電磁波である。現在、遠赤外利用技術の研究は光と電波の両側からおののの技術を拡張する方向で進められている。遠赤外線領域ではこの二つの技術が共存した競い合っているといえるが、波長 200 μm まではここで述べる圧縮型 Ge : Ga 検出器の存在によって、光の技術を波長の長い方向へ伸ばしてきた光子検出型の検出器が検出能力において優れている。

### 2. 圧縮型 Ge : Ga 遠赤外線検出器とは

Ge : Ga は、ゲルマニウム (Ge) 単結晶に不純物 (アクセプタ) としてガリウム原子 (Ga) をドープした外因性半導体である。不純物準位が 0.011 eV があるので ~110 μm まで感度をもつ光伝導型検出器として用いられる<sup>1)</sup>。この Ge : Ga 検出器のような p 型外因性半導体に、一軸性のストレスを加えると縮退が解け、一方のバンドのアクセプタ準位が減少する<sup>2)</sup>。このアクセプタ準位のストレス依存性を用いて、波長 200 μm 以上まで感度をもたせた高感度な圧縮型 Ge : Ga が開発されてきた<sup>3)</sup>。

この圧縮型 Ge : Ga 検出器は、最も長い波長まで感度をもつ量子型検出器であり、ボロメータに比べ格段に感度が良く、また応答速度が速く、主に衛星搭載冷却赤外線望遠鏡による宇宙空間からの天文観測に用いる目的で、米国を始め西独、フランス等で研究が進められている。日本においても、遠赤外線計測技術において不可欠のデバイスであると考えられるため、1985 年度より郵政省通信総合研究所と文部省宇宙科学研究所との共同で研究を進め、高性能な圧縮型 Ge : Ga 検出器の実現に成功した。以下では、われわれの開発した圧縮型 Ge : Ga 検出器について紹介する。

### 3. 圧縮型 Ge : Ga 半導体遠赤外線検出器の性能

開発にあたり、まず Ga 濃度  $2 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$  の Ge : Ga 結晶を住友金属鉱山(株)に、ウェハから検出器素子への製作を浜松ホトニクス(株)に依頼して、Ge : Ga 検出器の試作を行なった。

試作した検出器の 4.2 K で測定した抵抗率、ブレーカダウン電界より、Ge : Ga の特性モデルを解析した結果、コンペンセイション K (ドナー濃度/アクセプタ濃度) が  $10^{-2}$  以下 ( $\sim 3 \times 10^{-3}$ ) であることがわかった。この Ge : Ga 検出器は、4.2 K の検出器温度で  $\eta G$  (量子効率・光伝導ゲイン) = 0.11,  $R = 8.0 \text{ A/W}$  の高い感度、 $8.5 \times 10^{-16} \text{ W/Hz}^{1/2}$  という良い NEP をもち、また 4.2~2.0 K での  $\eta G$  の減少が温度に比例する程度に抑えられている。このことは、試作した Ge : Ga の結晶のコンペンセイションが小さいことが重要な要因になっている。

さて、この Ge : Ga 検出器をネジで締めて圧縮し、約  $7000 \text{ kg/cm}^2$  のストレスを加えることにより、分光感度特性において ~200 μm まで容易に感度が伸びることがわかった(図 1)。このことは、図 2 の暗電流の温度依存性より、エネルギーギャップが 5.1 meV であることと一致する。また、低背景輻射の条件では 2.0 K で検出器電流が  $4 \times 10^{-14} \text{ A}$  の低レベルまで下がることが確かめられた。その結果、表 1 に示すように 2.0 K で  $\eta G = 0.11$ ,  $R = 15 \text{ A/W}$ ,  $\text{NEP} = 2 \times 10^{-18} \text{ W/Hz}^{1/2}$  の良い性能を達成した<sup>4)</sup>。

### 4. 安定化圧縮型検出器マウントの開発と気球による遠赤外線天文観測への応用

Ge : Ga 検出器を圧縮しストレスを加える機構は、これまでネジとピストンを用いる型のもの<sup>3)</sup>が用いられてきたが、機械的緩和と熱サイクルによる緩みから安定なストレスを加え続ける点で問題があった。そのため、わ

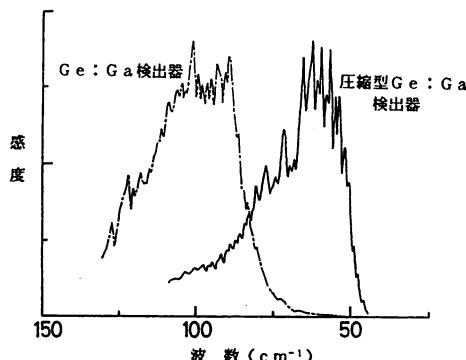


図 1 圧縮型 Ge : Ga 検出器と圧縮しない Ge : Ga 検出器の分光感度特性

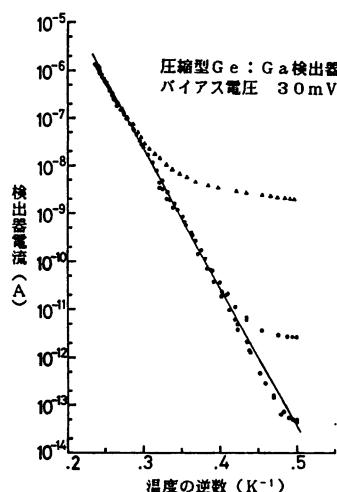


図 2 検出器電流の温度依存性  
バイアス電圧は 30 mV。図中、△ :  $7.8 \times 10^{10}$ , ● :  $9.6 \times 10^7$ , ○ :  $1.1 \times 10^6$  光子/秒の背景輻射光条件の場合である。

われわれは重荷重用皿バネを用いたコンパクトな圧縮型検出器マウントを考案した（図 3）<sup>4)</sup>。このタイプの圧縮型 Ge : Ga 検出器は、長期間の熱サイクルに対し、十分な安定性と前節に述べた良い性能を保つことができる。

この安定化圧縮型 Ge : Ga 検出器を、宇宙科学研究所が開発した遠赤外線ファブリ・ペロー分光器の波長 157.7 μm の電離炭素ガス輝線観測用の検出器として用い、宇宙研・京都大学共同開発の気球搭載赤外線望遠鏡（BIRT）に付けて気球高度からの天体観測を行なった。気球観測は、1988年5月から6月にかけて米国パレスタインにおいて行なわれ、銀河中心等の観測に成功した<sup>5)</sup>。この気球観測において、分光器の圧縮型 Ge : Ga 検出器チャネルの、システムとしての NEP は  $1 \times 10^{-14}$  W/Hz<sup>1/2</sup> より低く、実際の観測においてこの検出器の良

表 1 圧縮型 Ge : Ga 検出器の光学性能

|                            |                       |                     |
|----------------------------|-----------------------|---------------------|
| 大きさ (cm <sup>-3</sup> )    | 0.1×0.1(電極)×0.145厚    |                     |
| 検出器温度 (K)                  | 4.2                   | 2.0                 |
| $\eta G$                   | 0.21                  | 0.11                |
| 量子効率 $\eta$                | 0.5                   | 0.5                 |
| 光伝導ゲイン $G$                 | 0.42                  | 0.28                |
| 感度 (A/W)                   | 24                    | 15                  |
| NEP (W/Hz <sup>1/2</sup> ) | $3.2 \times 10^{-14}$ | $2 \times 10^{-18}$ |
| バイアス電界 $E_b$ (V/cm)        | 0.21                  | 0.21                |
| ブレーク・ダウン電界 (V/cm)          | 0.35                  | 0.36                |
| ピーク波長 $\lambda_p$ (μm)     | 160.5                 | 158.5               |
| カットオフ波長 $\lambda_c$ (μm)   | 198                   | 193.5               |

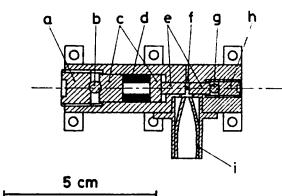


図 3 皿バネを用いた安定化圧縮型検出器マウント  
(a) 12 mmφ 細目ねじ, (b) ベアリングボルト, (c) 真鍮製ピストン, (d) 20 枚重ねの皿バネ, (e) 真鍮製ピストン, (f) Ge : Ga 検出器, (g) ベアリングボルト, (h) 6 mmφ ネジ, (i) パラボリックコーン

い性能が示されたことになる。

## 文 献

- P. R. Bratt: "Impurity germanium and silicon infrared detectors," *Semiconductors and Semimetals*, Vol. 12 Infrared Detectors II, eds. R. K. Willardson and A. C. Beer (Academic Press, New York, 1977) pp. 39-142.
- G. E. Pikus and G. L. Bir: "Effect of deformation on the hole energy spectrum of germanium and silicon," *Soviet Phys.-Solid State*, 1 (1960) 1502-1517.
- E. E. Haller, M. R. Hueschen and P. L. Richards: "Ge : Ga photoconductors in low infrared backgrounds," *Appl. Phys. Lett.*, 34 (1979) 495-497.
- N. Hiromoto, T. Itabe, T. Aruga, H. Okuda, H. Matsuhara, H. Shibai, T. Nakagawa and M. Saito: "Stressed Ge : Ga photoconductor with a compact and stable stressing assembly," to be published in *Infrared Phys.* (1989).
- H. Okuda, H. Shibai, T. Nakagawa, T. Matsuhara, T. Maihara, K. Mizutani, Y. Kobayashi, N. Hiromoto, F. J. Low and T. Nishimura: "Observation of diffuse C II emission in the Galactic Center region," *Proceedings of IAU Symp. No. 136* (D. Reidel, Dordrecht, 1988).