

Title	サブリミ領域用InSbホットエレクトロン光伝導検知器
Author(s)	阪井, 清美
Citation	大阪大学低温センターだより. 24 P.7-P.9
Issue Date	1978-10
Text Version	publisher
URL	<a href="http://hdl.handle.net/11094/12520">http://hdl.handle.net/11094/12520</a>
DOI	
rights	
Note	

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

サブミリ領域用InSb

ホットエレクトロン光伝導検知器

工学部 阪井清美 (吹田4655)

[序] この検知器はRollin型InSb検知器とも呼ばれ、動作原理は、n-InSbのホットエレクトロン効果を用いている。すなわち、伝導帯にある伝導電子が電場からエネルギーを吸って、電子系の温度が格子の温度すなわち平衡状態の温度よりも高くなり、オームの法則からはずれる非線形性を利用したもので、導電率 $\sigma$ は、

$$\sigma = \sigma_0 (1 + \beta E^2) \quad (1)$$

の形に書き表される。 $\sigma_0$ はオーム則が成り立つ領域での導電率、Eは結晶に加えられた電場の強さ、 $\beta$ はその係数である。このような効果は輻射によってもおこる。すなわち自由電子が輻射を吸収してホットな状態になるのであるが、この場合、吸収係数に波長(周波数)依存性がある。吸収係数 $\alpha$ は、

$$\alpha = (\sigma_0 / c \mu_0) (1/\epsilon)^2 / (1 + \omega^2 \tau_e^2) \quad (2)$$

$\epsilon$ : InSbの誘電率,  $\mu_0$ : 自由空間の透磁率, C: 光速,  $\sigma_0$ : 直流導電率,  $\tau_e$ : 電子の運動量の緩和時間, で表される。この式によると、長波長側( $\omega \tau_e \ll 1$ )では吸収係数は一定値を持つが、短波長側( $\omega \tau_e \gg 1$ )では $\omega^2$ に逆比例して( $\lambda^2$ に比例して)低下する。その境目は波長1mm近傍である。高純度で易動度の高いn-InSbのような半導体では、低温にすると弱い電場、弱い輻射でも十分このような効果がおこる。弱い電場を加えた結晶に輻射を当てると、抵抗値の変化を通じて輻射の測定ができる。

[検知器とその性能]

素子 筆者らが使用した結晶は、n型InSbの単結晶で、キャリア濃度 $\sim 10^{14}/cc$ , 易動度 $\sim 7 \times 10^5 \text{ cm}^2/V \cdot \text{sec}$  (77K), 4.2Kで $\sigma_0 = 0.83 \text{ } \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ,  $\beta = 70 \pm 6 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-2}$ , 1.7Kで $\sigma_0 = 0.50 \text{ } \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ,  $\beta = 73 \pm 6 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-2}$ の値を持っていた。この結晶から素子を切り出し、アルミナ粉末で研磨し(最終的に $1 \mu\text{m}$ 粗さ程度まで磨く),  $7 \times 4 \times 0.3 \text{ mm}$ の素子を作り、CP-4でエッチング後、電極として径 $100 \mu\text{m}$ の金線を $4 \times 0.3 \text{ mm}$ の面の各々にIn(99.999%)でハンダ付けしたもの(これだけで容易にオーミックコンタクトがとれる)を検知器素子として用いる。これをライトパイプの底にセットし、内部にヘリウムガスを充填し伝導によって液体ヘリウム温度まで冷却する。検知器素子の抵抗値は、4.2Kで $\sim 30 \text{ } \Omega$ , 1.7Kで $\sim 40 \text{ } \Omega$ であった。又筆者らは、検知素子自体での干渉効果を消すため、厚さ方向に $3^\circ$ の勾配をつけてこれを消した。

検知器回路 図-1は検知器回路である。上記のような低インピーダンスの検知素子を高入力インピーダンス( $\sim 10 \text{ M}\Omega$ )の前増幅器(A)に結合するためトランス(TRIAD JAF-14,  $n=50$ )を用いた。ノイズの点からトランスも素子近傍に置き素子と同温度に冷却する。V,  $R_L$ は各々、素子にバイアス電流を与

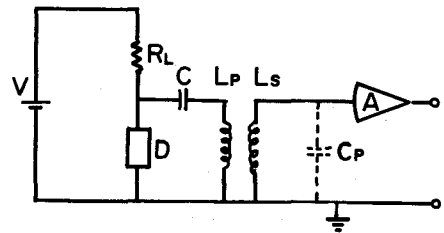


図-1

えるバッテリーと抵抗，Cはトランスの一次側にDC電流が流れるのを防ぐコンデンサー（ポリカーボネートコンデンサー，3～4 $\mu$ F）である。

**感度 (Responsivity)** 感度は，バイアス電流，波長，入射光の遮断周波数 (Chopping frequency) に依存する。感度のバイアス電流による変化を調べたのが図-2で，入射光の波長は300 $\mu$ m，0.8～0.9 mA附近に感度の最適点がある。4.2 K → 1.7 Kに温度

を下げると感度は約50%増加する。

周波数に関してはDC値に換算して表した。感度-波長依存性は図-3に示す。

波長1.2 mm近傍で感度は最高値を持ち，短波長側で，ほぼ $\lambda^2$ に比例して落ちている。これは，先に述べたフリーキャリア吸収の性質とよく合っている。以上感度は，検知器素子両端に於る値である。

**時定数** 素子だけの時定数は $10^{-7}$  sec程度といわれているが，トランスを使用しているので，トランスにより検知器の時定数が決っている。トランスに矩形波を入れて測定した結果から，時定数は100 $\mu$ secであった。この値は，感度-光束遮断周波数特性の実験結果からも支持された。

**雑音とNEP** 雑音としては，バックグラウンドの輻射のゆらぎからくる雑音以外に，検知素子の熱雑音，電流雑音，前置増幅器の格子抵抗の熱雑音及び（特に）初段管のフリッカー雑音等が考えられるが，光束遮断周波数を高くして $1/f$ 特性を持つ雑音（電流雑音とフリッカー雑音）を減少することにより，全体として雑音レベルを下げる事ができる。筆者らの実験では，遮断周波数を上げると雑音が， $\sqrt{e_N^2} \propto 1/f^{\frac{\alpha}{2}}$  ( $\alpha \sim 1.4$ ) にそって減少した。図-4は，最適波長におけるNEPと光束遮断周波数の関係を示したもので，遮断周波数を増して行く

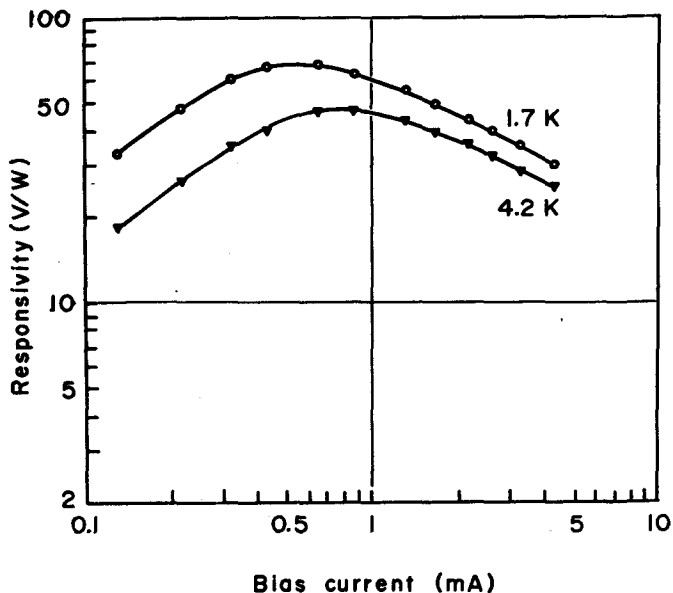


図-2

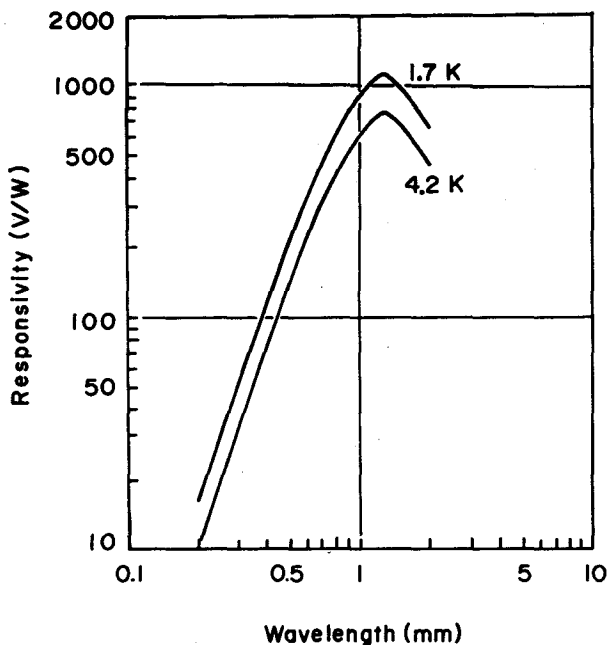


図-3

に従ってNEPが下ることを示している。

$f = 1350 \text{ Hz}$  の時,  $4.2 \text{ K}$  で  $\text{NEP} = 3.8 \times 10^{-13} \text{ W/Hz}^{\frac{1}{2}}$ ,  $1.7 \text{ K}$  で  $\text{NEP} = 3.1 \times 10^{-13} \text{ W/Hz}^{\frac{1}{2}}$  という値を得た。バックグラウンドの輻射のゆらぎが, この種の検知器に極限を与える。波長幅:  $150 \mu\text{m}$  より長波長側を受光, 受光面積:  $0.28 \text{ mm}^2$ , 受光立体角:  $\frac{1}{5} \text{ sr}$  という値を入れると  $9.7 \times 10^{-14} \text{ W/Hz}^{\frac{1}{2}}$  という値が極限值になっている。従ってNEPで, 理想的な検知器の約4倍のところまで近づいたことになる。

この検知器は作り易く, 使い易く, 又使ってみてほとんどトラブルがないので, 筆者らは波長 $\sim 250 \mu\text{m}$  から長波長側の検知器として重宝している。

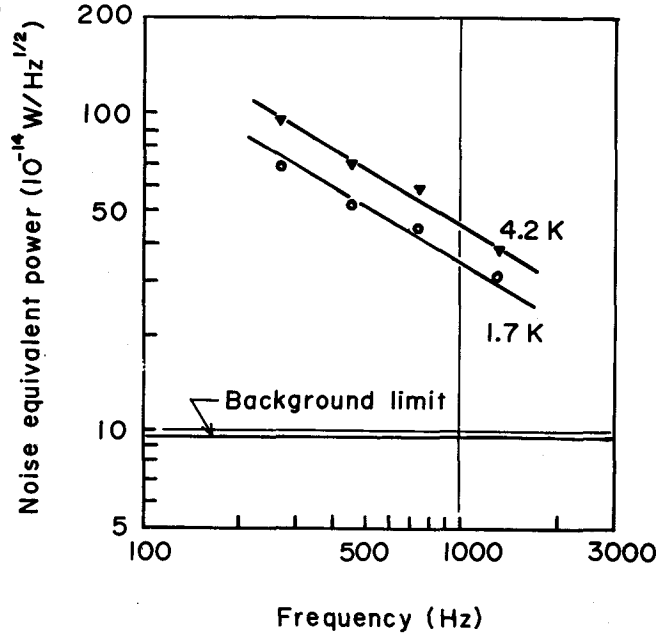


図-4

- 1) K. SAKAI and J. SAKAI : Japan. J. appl. Phys. 15 (1976) 1335.