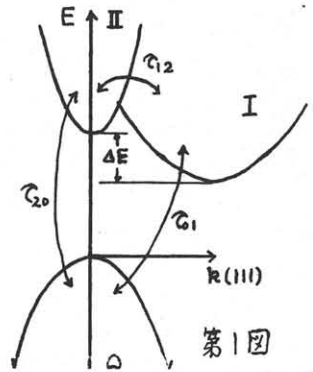


序 従来知られている半導体のN型負性抵抗効果としてはトンネル効果及びガン効果がある。しかしこの他に電界の増加と共にキャリアが減少することによってN型負性抵抗効果は起るはずである。このためこのキャリア減少によって生ずる負性抵抗効果について論ずる。

キャリア消滅効果 第一図はGeのband構造である。このようないわゆるindirect band構造を有する半導体ではValley 0, I, IIの間の電子遷移時間で τ_{01} , τ_{20} , τ_{12} の間に次の関係がある。

$$\tau_{01} \gg \tau_{20} \gg \tau_{12} \quad (1)$$

今 $n \approx p$ の場合について考えると次のようにして強電界条件下でキャリア消滅が発生する。即ち低電界でValley Iにあった電子は電界が増すにつれてValley IIに遷移するようになる。これはValley Iでは熱平衡以下の電子密度になり、Valley IIでは熱平衡以上の電子密度になっていることを意味する。そのためValley IIの電子は $1/\tau_{20}$ の速度でValley 0のホールと再結合し、Valley 0からはValley Iに $1/\tau_{01}$ の速度で電子が発生する。従って(1)の条件下では電界が増すにつれて全体のキャリア密度は減少することになる。



キャリア密度及び電流密度の電界依存性 この場合は $n = p$ の場合について考える。この条件は真性半導体によって満たされるが、これに近い条件は光の照射や少数キャリアの注入によって満たすことができる。

電界零の平衡状態では電子密度 n_0 は次のようになっている。

$$n_0 = n_{10} + n_{20} = p_0 \quad (2)$$

電界加熱状態 ($F \gg 0$) では、電子密度 $n(F)$ は次のようになっている。

$$n(F) = n_1(F) + n_2(F) = p(F) \quad (3)$$

$$n_1(F) < n_{10}, \quad n_2(F) > n_{20} \quad (4)$$

電界Fでの定常状態においてValley 0からValley Iへの発生とValley IIからValley 0への再結合とは等しい。

$$\frac{n_2(F) - n_{20}}{\tau_{20}} = \frac{n_{10} - n_1(F)}{\tau_{01}} \quad (5)$$

式(2), (3), (5)から $n(F)$ を求めると次のようになる。

$$n(F) = n_0 \frac{\tau_{01}/\tau_{20} + n_{10}/n_{20}}{1 + n_{10}/n_{20}} \left\{ 1 - \frac{\tau_{01}/\tau_{20} - 1}{\tau_{01}/\tau_{20} + n_1(F)/n_2(F)} \right\} \quad (6)$$

$n_1(F)/n_2(F)$ は電界の減少函数であるから $n(F)$ は電界の増加と共に減少する。

$n_1(F)/n_2(F)$ の計算 $n_1(F)/n_2(F)$ を求めるために次の仮定をする。即ち、電子はボルツマン分布をし、Valley IIの電子分布はValley Iの分布で支配される。

$$\frac{n_1(F)}{n_2(F)} = \frac{\int_0^\infty z_1(E) f(E) dE}{\int_0^\infty z_2(E) f(E+\Delta E) dE} \quad (7)$$

Ge の場合の計算 (7)式を Ge の場合について計算すると次のようになる。

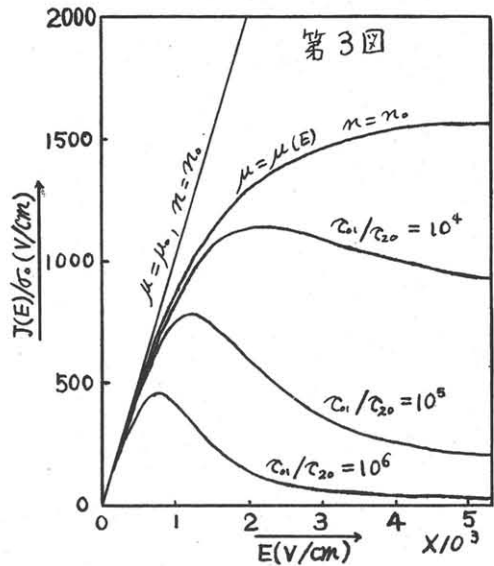
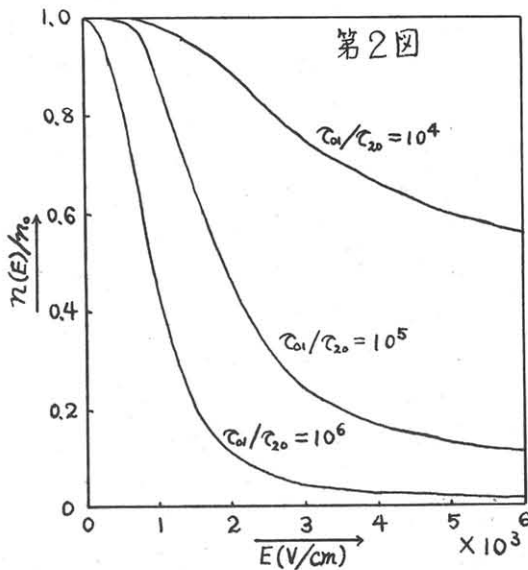
$$\frac{n_1(F)}{n_2(F)} = 4 \left\{ \frac{(m_{11}^* m_{12}^* m_{13}^*)^{1/2}}{m_2^*} \right\}^{3/2} \cdot \exp \frac{\Delta E}{k T_e(F)}$$

$$= 8.73 \times 10^3 \exp \frac{0.14}{k T_e(F)} \quad (8)$$

Ge の電子温度 $T_e(F)$ 及び電子ドリフト速度について は Shockley, Yamashita と Inoue 及び Conwell 等の計算がある。ここでは Yamashita と Inoue⁽¹⁾ の計算式に従い, Gunn⁽²⁾ のホット電子の実験に合うように電子温度 $T_e(F)$ を決め、 $\tau_{01}/\tau_{20} = 10^4, 10^5, 10^6$ の場合についてキャリア密度 $n(F)$ 及び電流密度 $J(F)$ を計算した。その結果を第2図及び第3図に示した。

結論 Ge の場合の計算結果に見られるようにキャリア消滅効果による半導体負性抵抗は indirect band 構造を有する半導体において $n \approx p$ の条件下に起こることが明らかとなった。しかしこの効果は bulk 効果であるため実際には Gunn 効果のみされるように高電界領域の形成が bulk 中で起り、電流の不安定性として観測されるものと考えられる。これまでに発表された半導体の不安定性、とりわけ Sogami⁽³⁾ のようなものはここに述べた効果によって説明され得ると考えられる。

謝辞 この研究を進めるに当り 有益な御討論を頂いた東北大学 西沢教授に、又終始御指導、御鞭撻を頂いた当社吉松部長、藤林課長に、心からの謝意を表わします。



参考文献

- (1) Y. Yamashita and K. Inoue: J. Phys. Chem. Solids, Vol. 12, P. 1 (1959)
- (2) J. B. Gunn: J. Electronics, Vol. 2, P. 87 (1956) Γ (1962)
- (3) M. Kthuchi and Y. Abe: J. Physical Society of Japan, Vol. 17, P. 1268