

4-4 ホットキャリア状態 n-GaAs のマイクロ波移動度の周波数依存性

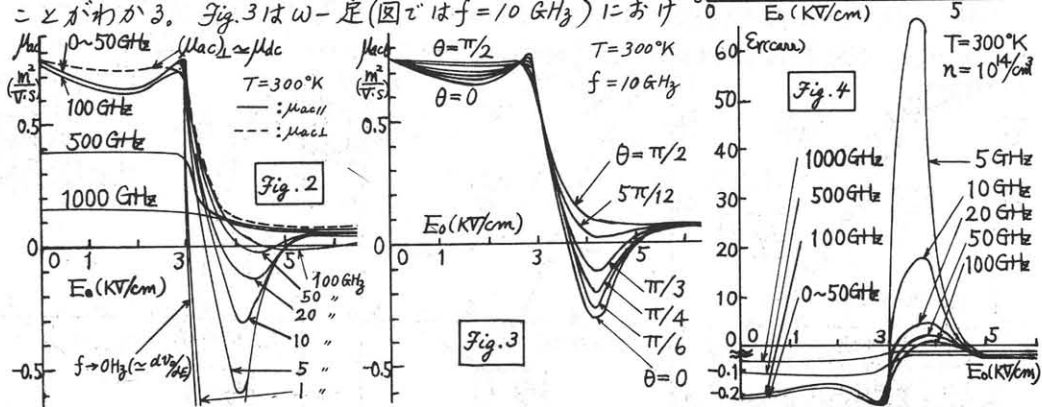
大阪大学 基礎工学部 金田重男 安部正幸

緒論 Gunn効果発振器などのように一般に高電界が印加された n-GaAs を用いる素子のマイクロ波動作特性ならびに使用周波数上限などの検討のため、そのような状態下にある n-GaAs のマイクロ波移動度の電界、周波数依存性につき理論解析ならびに、マイクロ波加熱を利用した無電極法による実験をおこなう。周波数による Threshold 電界値 (E_{th}) の推移、負性抵抗領域での強い周波数依存性などにつき両者にかなりの一致がえられ、周波数依存性の原因などにつき種々の知見がえられたので報告する。

理論解析 ホットキャリア状態 n-GaAs に微小マイクロ波電界を重ねた場合のキャリアの輸送現象を常温で考慮すべき散乱機構 (Acoustic, Polar Optical, Intervalley 各散乱) をすべてとりつけた Boltzmann 輸送方程式をもとにして解析をおこなう。マイクロ波移動度、誘電率の電界および周波数依存性を求めた。解析結果の定常状態における特性を Fig. 1 に示す。 $v_{10}, v_{20}, T_{e10}, T_{e20}$ は Valley 1, 2 におけるドリフト速度、電子温度を示し、 v_0 はバルクでのドリフト速度、 $P_0 = n_{e10} n_{e20}$ (Valley 2, 1 間のキャリア数分布割合) である。これらの結果は周波数特性の解析上、取扱う法などに多少の差異はあるが今まで定常特性として求められたものと大した差異はない。次にバイアス電界 E_0 と微小マイクロ波電界 (角周波数 ω) ΔE を角度 θ で印加したときバルクでのマイクロ波移動度は

$$(\mu_{ac}(\omega, E_0))_{\theta} = (1/P_0) \{ (\mu_{ac1})_{\theta} + P_0 (\mu_{ac2})_{\theta} + (1/n_{e10}) (dn/dE)_{\theta} \cdot (v_{10} - v_{20}) \cos \theta \} \quad (1)$$

で与えられる。ここで $(\mu_{ac1})_{\theta}, (\mu_{ac2})_{\theta}$ は Valley 1, 2 における値、 $(dn/dE)_{\theta}$ はキャリア数変化割合を示す。 Fig. 2 に $\theta = 0$ ($E_0 // \Delta E$) および $\theta = \pi/2$ ($E_0 \perp \Delta E$) の場合の電界および周波数依存性を示す。 $\theta = 0$ (μ_{ac1}) の場合、負性抵抗領域では数 GHz から周波数依存性があらわれ 100 GHz 前後で負性抵抗特性が消える。これらの特性は (1) 式第 3 項の $(dn/dE)_{\theta}$ の周波数依存性によるもので、このかわれば Valley 間のキャリア数緩和時間が直接影響するためである。 $\theta = \pi/2$ (μ_{ac2}) の場合は直流移動度 μ_{dc} に非常に近い値を示すばかりでなく周波数依存性もきわめて少

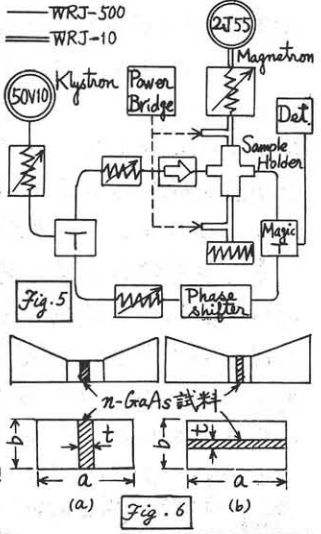


る (σ_{ac}) の電界および角度依存性を示す。Fig. 2, 3 からわかるように負性抵抗領域では (σ_{ac}) は $\frac{E_{th}}{\omega}$ の値によりほとんど一義的に定まるような、すなわち θ の変化は等価的に ω の変化におきかえられるような性質をもつ。Fig. 4 は $\theta = 0$ の場合におけるキャリアによる等価的なマイクロ波比誘電率 $\epsilon_{r(carr)}$ の電界および周波数依存性を示す。 E_{th} をこえると $\epsilon_{r(carr)}$ は急激に大きな値を示し σ_{ac} と似た周波数依存性を示す。

実験 実験は電極の効果が入らず完全に無電極状態でマイクロ波移動度が測定できるように特に考案した方法を用いた。すなわち 10 GHz 帯のマイクロ波 (f_H) で加熱してホット状態になった試料に 50 GHz 帯ミリ波 (f_M) を側方より照射しその透過波の伝播特性 (減衰量, 移相量) を調べることによりマイクロ波導電率 (σ_{ac}), 誘電率 (ϵ_{ac}) が実測できるようになっている。Fig. 5 に実験に用いた回路の構成図を示す。試料支持部は Fig. 6 のような構造になっており加熱用マイクロ波と測定用ミリ波の電界方向を平行ならびに直角にする場合 それぞれ同図 (a) (b) のような構造を用いている。試料は $\rho_s \approx 20 \Omega \cdot \text{cm}$, 加熱用マイクロ波パルス幅 $\sim 1 \mu\text{sec}$, 繰返 1/10 Hz 程度で常温に保持して実験をおこなっている。試料に印加されている加熱用マイクロ波の電界値は試料支持部の前後で測定した平均電力より決定できる。このような方法で実測されるものは加熱用マイクロ波の一周期における平均導電率 $\langle \sigma_{ac} \rangle$ である。いまホット状態の n -GaAs の J-E 特性は σ_0 を低電界における導電率として一般に次式で与えられるとする。

$$J(\omega, E) = \sigma_0 E (1 + A E^2 + B E^4 \dots), \quad A, B: \text{ホットキャリア定数} (\omega \text{ により異なり}) \quad (2)$$

(2) 式をもとにして $\langle \sigma_{ac} \rangle$, $\sigma_{ac \parallel}$, $\sigma_{ac \perp}$... などを表示する式が A, B を含んだ形で導出される。そして多数の実測値を $\langle \sigma_{ac} \rangle$ の表示式に代入し最小自乗法を用いて A, B が決定できる。実験結果を Fig. 7~9 に示す。Fig. 7 は $\langle \sigma_{ac} \rangle$ の実測値を示し実線は上の操作で決定した A, B の値を用いた曲線を示す。 $\sigma_{ac \perp}$ は σ_{ac} とほぼ等しいと考えるとよ⁴⁾から $\sigma_{ac \perp} = \sigma_{ac}$ として J-E 特性から求めた微分移動度は周波数が充分低い領域での σ_{ac} を、また $\sigma_{ac \parallel}$ は $f_M = 50 \text{ GHz}$ での σ_{ac} を示す。したがって Fig. 9 に示した両者の差異は σ_{ac} の周波数依存性を示すもので E_{th} 値の推移、負性抵抗領域での強い周波数依存性などが先の理論解析の結果とかなりよく一致することがわかる。



文献 1) 金田, 安部: 准学電装研資 ED69-23 (1969-10), 2) P.N. Butcher et al.: Proc. Phys. Soc. 86, 1205 (1965), 3) 金田, 安部: 米300回物 10PM7 (1967-10), 4) M.W. Quinn: IEEE 52, 851 (1964)

