



Title	n-Geにおけるホット・エレクトロンのミリ波複素導電率及びエネルギー緩和時間に関する研究
Author(s)	小林, 利彦
Citation	大阪大学, 1975, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/31341
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏名・(本籍)	小 林 利 彦
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	第 3 2 8 1 号
学位授与の日付	昭 和 50 年 3 月 6 日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	n-Ge におけるホット・エレクトロンのミリ波複素導電率 及びエネルギー緩和時間に関する研究
論文審査委員	(主査) 教 授 藤 澤 和 男 (副査) 教 授 牧 本 利 夫 教 授 成 田 信 一 郎 教 授 難 波 進 教 授 犬 石 嘉 雄 教 授 末 田 正

論 文 内 容 の 要 旨

第1章は序論で、n-Ge におけるホット・エレクトロンのミリ波における複素導電率およびエネルギー緩和時間の決定が重要な研究課題であることを述べ、本研究を行なうことの必要性および目的を明記している。そして、この分野における研究の沿革と現状にふれ、未解決の問題を列挙すると共に本論文における研究との差異を指摘して本論文がこの分野で占める位置を明らかにしている。

第2章では、半導体のホット・キャリアのエネルギー緩和時間 τ_e の問題を取りあげ、その値を実験的に決定する方法を提案している。このエネルギー緩和時間は短かく、運動量緩和時間 τ_m の場合とは違ってその直接的な測定は困難とされている。しかし、例えばホット・キャリアのマイクロ波複素導電率を測定すれば、角周波数 ω が十分大きいことから、 $\omega\tau_m$, $\omega\tau_e$ なる量も1に比較して無視しえない程の値を取る。そのため緩和時間の効果を間接的に観測できる。

本章では、直流高電界と平行な微小マイクロ波電界に関する複素導電率の測定値を基にして、ホット・キャリアの温度 T 。およびエネルギー緩和時間 τ_e を求める関係式を、運動量およびエネルギーに関する現象論的な輸送方程式から導出している。その導出過程には、従来よりしばしば使用されてきた近似、例えば $\omega\tau_m \ll 1$ や $(T_0 - T_L)/\tau_e \cdot d\tau_e/dT_0 \ll 1$ は含まれていない。従って、たとえその散乱機構の詳細が不明でも、単一の valley 構造として扱える半導体には一般的に適用可能である。

第3章では、n-Ge について直流高電界と平行なミリ波複素導電率の測定を行なうと共に、第2章で導出した関係式を用いてホット・エレクトロンのエネルギー緩和時間 τ_e の値を定量的に決定している。実験は、円柱状の n-Ge 試料を方形導波管内へミリ波電界と平行に挿入して行なっている。測定周波数は33.73 GHz と67.5 GHz に選び、周波数依存性すなわち $\omega\tau_m$ および $\omega\tau_e$ なる量の大小によ

る複素導電率への効果が、格子温度 78k においてはもちろん、300k においても顕著であることを確認している。実験結果から T 、および τ_e を定量的に決定している。さらにそれらの印加直流電界依存性を従来の理論的あるいは、半理論的に得られていた結果と比較検討を行ない、両者がほぼ一致することを明らかにしている。また τ_e の代りにしばしば用いられた量 ν_e との比較を行ない、その問題点を指摘している。

第4章では、第3章で用いた測定方法に対応するものとして、円柱状半導体試料を用いて直流高電界に垂直な方向のマイクロ波電界に関する複素導電率を測定する方法を提案している。そのため半導体円柱を方形導波管の横方向、すなわち電界に垂直な方向に挿入した場合の散乱問題を論じている。このような挿入形態をとれば、2媒質を含む3次元境界値問題となる。半導体円柱は異方性のマイクロ波複素誘電率を呈するものとして取り扱っており、その散乱界は線磁流源と線電流源の組合せによる多極子展開として表わしている。そして円柱半径が波長に比して十分小さいとしての近似解析の結果、反射係数、透過係数および等価回路定数を波長に対する円柱半径の比の4次の位の精度で得ている。種々な複素誘電率を呈する半導体円柱について等価回路定数の数値例を示すと共に、異方性複素誘電率による影響をも論じている。

第5章では、n-Ge のホット・エレクトロンのミリ波複素導電率の異方性、すなわち直流高電界に平行および垂直なミリ波電界に関する複素導電率の問題をとりあげている。まず本章に述べる実験条件において、異方性が生じる原因についての物理的なモデルを考察している。ついで、円柱状試料を用いて 33.73 GHz および 67.5 GHz の周波数における実験を行なっている。測定方法は両電界が平行な場合については第3章におけると同じ、また垂直な場合については第4章で提案した方法である。そして直流電界が零の時には、垂直な場合の測定結果が平行な場合のそれとよい一致を示すことから第4章で提案した方法が本研究では十分実用になることを確かめている。ミリ波複素導電率の直流電界依存性は平行な場合の方が垂直な場合よりも大きく、この異方性現象は格子温度が 300k であるよりも 78k である方が著しい。また測定周波数が高くなるにつれて異方性が消滅する傾向にあるということを指摘している。

第6章は、n-Ge のホット・キャリアについて、ミリ波を用いて行なった第2章から第5章までの研究の成果を総括して、本研究の結論を述べている。

論文の審査結果の要旨

半導体試料に高電界を印加して、ホット・エレクトロン状態を生じさせた時、その試料がどのようなミリ波特性を示すかを知ることは、マイクロ波デバイス工学の立場から非常に重要である。本論文は、n-Ge に対して 300k および 78k の格子温度にいて、ホット・エレクトロン状態のミリ波複素導電率を精密に測定し、加熱電界強度したがって電子温度に対してこれが急激な変化を示すこと、およびミリ波電界と加熱電界の相対方向による異方性の存在を明らかにした。

つぎに、電子の運動量とエネルギーの輸送方程式より、電子の運動量緩和時間 τ_m とエネルギー緩和時間 τ_e をミリ波複素導電率の実部と虚部を用いて表わす関係式を導き、これを用いて上記の測定データより n-Ge のホット・エレクトロン状態の τ_m と τ_e および電子温度を求めた。これらの測定値は他の研究結果と比較して妥当な値となっている。 τ_e の測定は困難で、従来その測定データは少ないが、本論文はミリ波を用いることにより、 $\omega\tau_e \geq 1$ の状態を実現し、比較的精度よく τ_e を求めたことの意義は大きい。本論文は、マイクロ波半導体工学に寄与する所が大きく、学位論文として価値あるものと認める。