The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	半導体のホット・キャリヤとその応用に関する研究
Author(s)	浜口, 智尋
Citation	大阪大学, 1966, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/28949
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)　浜口智尋（はまぐち ちひろ）

学位の種類　工学博士

学位記番号　第934号

学位授与の日付　昭和41年3月28日

学位授与の要件　工学研究科電気工学専攻
学位規則第5条第1項該当

学位論文題目　**半導体のホット・キャリヤとその応用に関する研究**

論文審査委員　(主査)
教授 犬石嘉雄
(副査)
教授 山村豊　教授 西村正太郎　教授 山中千代衛
教授 藤井克彦　教授 中井順吉

論文内容の要旨

本論文は著者が大阪大学大学院工学研究科に在学中 Ge, Si, InSb や CdS などのホット・キャリアの振舞とその工学的応用に関して行なってきた研究をまとめたもので六章にわけて構成されている。以下各章ごとに順を追ってその内容の要旨を述べる。

第一章　序　論

本章ではホット・キャリアに関する研究の沿革と現状について触れ，未解決の問題点を挙げ，その問題点を解明することがいかに重要であるかを述べることによって本論文の目的と意義を明らかにした。

第二章　Ge および Si のホット・キャリアとその散乱機構

本章では Ge および Si におけるホット・キャリアの散乱機構を解明するために，直流パルス電界でホット・キャリアを作りマイクロ波（9.6 Gc, 約 20 mW）の吸収量の変化からキャリアの電気伝導度 σ を測定し $\sigma/\sigma_0=1+\beta E^2$ で表わしたときの warm carrier 係数 β の値を求め種々の散乱機構を仮定した Stratton の理論と比較した。（σ_0 は電界Eを0に外挿したときの電気伝導度。）その結果 n 型 Ge では比較的よい一致が得られたが他の試料 p 型 Ge, n 型 Si, p 型 Si では計算値は実測値の約 1/10 程度であった。この不一致の原因としては（i）電子，正孔の有効質量のとり方，特に有効質量の温度変化 (ii) p 型試料における軽い正孔の無視 (iii) n 型 Si における intervalley scattering に伴う結晶軸異方性や (iv) 電子，正孔の分布函数が Maxwell 分布からずずれていることなどが挙げられる。軽い正孔を考慮した場合の warm carrier 係数についての計算を行なったが実験とのよい一致が得られなかった。不一致の最大の原因は warm carrier の分布函数が Maxwell 分布からずれているためであると結論された。

第三章　Si のホット・エレクトロンと結晶軸異方性

本章ではマイクロ波（9,375 Gc）の高電界パルスを用いてホット・エレクトロンを作り，試料を流れる微小な直流電流の変化から電気伝導度の測定を行なった結果について述べた。結晶軸異方性の研究を行なうために試料を特定の結晶軸方向に切り出し，電気伝導度の測定結果から各 valley のホット・エレクトロンの密度を電界の関数として求めた。その結果電界を<001>および<110>方向に加えた場合の<100>方向の valley の電子密度の変化割合 $\triangle n/n_0$ は電界 5 kv/cm でそれぞれ10%および2.5%であった。また warm carrier 係数 β の結晶軸異方性についての測定結果は Schmidt-Tiedemannの理論とよく一致した。ホット・エレクトロンの熱起電力の測定も行なったが，約1kv/cm以下では熱起電力はマイクロ波電界の2乗に比例することがわかった。

第四章　InSb のホット・キャリア

第二章と同じ装置を用いて p-InSb におけるホット・キャリアの移動度を電界の函数として 90°K ～190°K の範囲で測定し Stratton の理論と比較した。warm carrier 係数 β の温度依存性の実測値は Stratton の理論と定性的には一致したが高温では不一致が大きくなる。不一致の原因は正孔—正孔散乱が充分強いという仮定が満たされないためであると結論した。

第五章　ホット・キャリアの工学的応用

本章ではホット・キャリアの工学的応用の基礎実験の結果と今後の発展の可能性についてのべた。Ge のホット・キャリアを用いたマイクロ波変調素子（トランスパリタ）の特性を調べ，繰返し周波数が性能に及ぼす影響などについての実験的結果を示した。また InSb の絶縁破壊を用いた高速度マイクロ波スイッチを開発しその性能についての測定と短距離レーダの開発の可能であることなどを示した。CdS における超音波増幅に関連した電流飽和現象についてもとりあげ，電子移動度の測定法として電流飽和の臨界電界から求める方法を用いることが可能であることを実験的に示した。更に超音波増幅に関して工学的応用の二，三の例についてもふれた。

第六章　結　　論

半導体のホット・キャリアとその応用に関する第二章から第五章までの研究結果を総括して本研究の結論をのべた。

論文の審査結果の要旨

本論文は主としてゲルマニウム，シリコン，InSb, CdS などの半導体単結晶に高電界を加えたときに生じる〝熱い電子〟ホット・エレクトロン及びホット・ホールの性質とその応用に関するもので6章からなっている。

第1章は序論で，ホット・キャリアの研究に関する従来の経過と問題点を述べている。さらに本研究の目的と意義にふれそれがこの分野において占める地位を明らかにしている。

第2章は Ge および Si のホット・キャリアとその散乱機構と題し，直流パルス電界でホット・キャリアを造ったときのマイクロ波吸収の変化から，著者の工夫した精度のよい方法でホット・キャリ

アの移動度変化を温度の関数として求め，その結果を理論的に検討している。即ち，格子振動の音響モードと光学モードによる散乱を考えた Stratton, Adawi などの理論から求めた高電界での移動度変化は n 型 Ge では比較的よく実験値と一致するが，p 型 Ge, n 型 Si 及び p 型 Si では実験値はこれらの理論値よりも約1桁大きいことを明らかにしている。さらにこの不一致の原因として(Ⅰ)有効質量のとり方（Ⅱ）分布関数のマクスウエル分布からのずれをあげ後者がこれまでの理論と著者の実験結果の相違の最大の原因であることを種々の実験結果から推論している。

第3章は Si のホット・エレクトロンと結晶軸異方性と題し，マイクロ波高電界パルスを用いて n 型シリコン中にホット・エレクトロンを造り微小直流バイアスを加えたときの直流電流の変化からホット・エレクトロンの移動度変化を求めた結果を述べている。特に特定の結晶軸方向に切り出した Si 試料についてホット・エレクトロンの移動度変化の結晶軸異方性を精密に測定しそれから Si の伝導帯の各 valley の電子密度を電界の関数として求めこれらの異方性が Schmidt-Tiedemann の理論とよく一致することを述べている。またホット・エレクトロンの熱起電力を測定しそれがマイクロ波パルス電界の測定法として使用しうることを示している。

第4章は InSb のホット・キャリアと題し直流パルス電界で p 型 InSb 中に生じたホット・キャリアのマイクロ波吸収からその移動度変化を電界の関数として 90°K～190°K の範囲で測定した結果を述べ Stratton の理論と比較し定性的には一致することを述べている。

第5章はホット・キャリアの工学的応用と題し，半導体中のホット・キャリアの工学的応用に関する基礎実験の結果と今後の見通しについてのべている。即ち、Ge のホット・キャリアを用いたマイクロ波変調素子の特性についての実験結果を述べ、さらに InSb の絶縁破壊を用いた高速度マイクロ波スイッチの試作結果にふれそれが近距離レーダに応用しうることを述べている。つぎに CdS 中のホット・エレクトロンによる超音波増幅について行なった種々の基礎実験の結果を述べている。

第6章は結論でこの研究によって得られた成果を総括して述べている。

本論文は種々の実験条件の下で半導体中のホット・キャリアの基礎的性質をマイクロ波技術を駆使することによって精度よく詳細に測定し，その結果と在来の理論値と比較することによって半導体の電子（正孔）輸送の基礎に関する極めて重要な結論を得ているものとして注目される。即ち、本研究によって p 型 Ge, Si では光学モード格子振動の影響による分布関数の変化をとり入れることがホット・キャリアの理論に必要なことが明らかになり，またホット・キャリアの結晶軸異方性，valley 間電子分布などについても精度の高い実験結果を得，その理論計算の基礎をあたえている。

以上にその数例を述べたような成果は，最近固体によるマイクロ波発振現象として注目される Gunn 効果などの本質である多谷構造の化合物半導体でのホット・エレクトロンの基礎的性質を明らかにする上に極めて大きな寄与をし，さらに InSb の絶縁破壊を応用した高速度マイクロ波スイッチの開発などとともに工業的にも極めて大きな貢献をあたえるものである。

以上のように本論文は半導体工学上極めて重要な知見を供給するもので博士論文として十分価値あるものと認める。