



Title	III－V化合物半導体の高電界現象とホットエレクトロン分布関数に関する研究
Author(s)	竹中, 信之
Citation	大阪大学, 1980, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/32576">https://hdl.handle.net/11094/32576</a>
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、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>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)	たけ 竹	なか 中	のぶ 信	ゆき 之
学 位 の 種 類	工	学	博	士
学 位 記 番 号	第	4	9	3
学位授与の日付	昭和 55 年 3 月 25 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	Ⅲ—V 化合物半導体の高電界現象とホットエレクトロン分布関数に関する研究			
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 犬 石 嘉 雄			
	(副査) 教 授 西 村 正 太 郎    教 授 木 下   仁 志    教 授 山 中 千 代 衛			
	教 授 藤 井   克 彦    教 授 鈴 木    胖    教 授 横 山   昌 弘			
	教 授 中 井   貞 雄    教 授 三 石   明 善			

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、以下の 6 章より成っている。

### 第 1 章 序論

半導体の高電界現象研究の歴史を振り返り、ホットエレクトロン分布関数に関する研究が注目されるに至った経過を述べている。これまでに行われた分布関数導出の実験、理論の問題点を提起することによって、本論文の目的を明らかにすると共に、この分野の研究における位置付けを行っている。

### 第 2 章 GaAs の電界印加フォトルミネセンス スペクトルと電子分布関数の実験的導出

電界印加フォトルミネセンスの測定を行い、伝導帯—アクセプタ準位間発光、もしくは伝導帯—価電子帯間発光スペクトルから電子分布関数を導出し、理論との比較検討を行っている。n-GaAs を用いた測定から極性光学フォノン散乱の影響が顕著に現われた、キンクのある非マックスウェル電子分布関数を初めて実験的に確認し、この電子分布関数がイオン化不純物散乱によって変化してゆく様子について検討している。また p-GaAs を用いてガン発振しきい値以上の高電界下において電子分布関数を求め、 $\Gamma$ -L 谷間散乱についての考察から  $D_{\Gamma L} = 1 \times 10^9$  eV/cm を得ている。

### 第 3 章 モンテカルロ法による GaAs の電子分布関数の計算

第 2 章で用いた理論的な電子分布関数の計算方法と電子—電子、電子—正孔散乱が電子分布関数に及ぼす影響について述べている。

電子分布関数のキンクは電子—電子散乱によって不明瞭になることが判明した。さらに、この散乱によって変位した波数ベクトル付近の電子数が増加することがわかった。第 2 章で実験的に求めた電子分布関数は、励起光で作り出されたキャリア間の散乱を考慮したモンテカルロ法による計算結果と

よく一致することを示している。

#### 第4章 III-V 混晶のホットエレクトロン現象

GaAs 系混晶の結晶成長およびホットエレクトロン現象について述べている。Ga-As-Sb 系の特異な状態図を考慮して定常状態液相エピタキシャル法で  $\text{GaAs}_{1-x}\text{Sb}_x$  の結晶成長を行い、組成均一の厚い成長層を得ている。半絶縁性 GaAs の表面層が熱処理によって n 型の低抵抗層に変化することを見出し、電気的、光学的測定からその原因について検討している。 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0.37$ ) において振動的な光伝導スペクトルを観測し、振動のエネルギー周期から正孔の有効質量を計算している。

$\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$  ( $x=0.36$ ) を用いて電界印加フォトルミネセンスの測定を行い、 $\Lambda_{rx} \cdot \Lambda_{rL}$  が小さい条件下での電子分布関数について検討している。

#### 第5章 ホットエレクトロン注入によるエレクトロルミネセンス

GaAs  $p^+-n$  ダイオードを用い、n 領域に加わるバイアス電圧によって作り出されたホットエレクトロンを活性層に注入してエレクトロルミネセンスの測定を行い、発光スペクトルと印加電圧の関係について調べている。

#### 第6章 結論

第2章から第5章までの研究結果を総括して結論としている。

### 論文の審査結果の要旨

GaAs を中心とする III-V 族化合物半導体は電界効果トランジスタ、ガン素子、電子なだれ素子などの高周波用固体電子素子として、さらに半導体レーザー、発光素子、受光素子などのオプト・エレクトロニクス素子として近年急激にその応用が拡大してきている。これ等多くの能動素子は、電界下の非熱平衡電子（ホット・エレクトロン）の特性を利用している。

従ってこれらの素子の物性を精密に理解し設計するにあたっては、ホット・エレクトロンの分布関数を求めることが基本的に重要となる。本論文はこのような要請の下に主として高電界下のレーザー励起光ルミネセンスのスペクトル分布から III-V 族半導体単結晶中の電子分布関数を求める方法を初めて確立し、モンテカルロ法による計算結果と比較して検討を加えたものである。その結果多くの重要な新知見を得ているが、そのうち主なものを例示すると、

- (1) はじめて、GaAs 単結晶中のホット・エレクトロン分布関数を実験的に求め、それが変位マクスウエル分布では近似し難いことを証明し、光学フォノンのエネルギーに相当する所に理論から予期されていた分布関数のまがり（フォノン・キंक）があることを見出した。
- (2) P 型 GaAs を用いることによってガン効果の閾電界以上の高電界でのホット・エレクトロンの分布関数を求め、フォノン・キंकが減少することを見出すとともに、理論計算との比較から変形ポテンシャル定数 ( $D_{rL}$ ) を求めた。
- (3) 実測のホット・エレクトロン分布関数は、フォノン散乱と不純物散乱のみを考えたモンテカルロ

計算の結果とは低エネルギー側で不一致が見られるが、これは後者に電子-電子散乱の影響を取り入れることによって改善されることを見出した。

以上に例示したように、本論文はⅢ-Ⅴ族化合物半導体を用いる素子の物性を理解する上で基本的に重要なホット・エレクトロン分布関数に関する理論的、実験的に重要な幾多の新知見を得ており、半導体物性工学上寄与する所が大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。