

氏名	山下詔康 やま した あき やす
学位の種類	理学博士
学位記番号	論理博第274号
学位授与の日付	昭和44年7月23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	Space-Charge-Limited Currents and the Velocity-Field Characteristic in n-Type GaAs (N型砒化ガリウム中の空間電荷制限電流およびドリフト速度の電界依存性)
論文調査委員	(主査) 教授 浅井健次郎 教授 松原武生 教授 中井祥夫 教授 端 恒夫

論 文 内 容 の 要 旨

半導体中の空間電荷制限電流については、従来多くの研究がなされているが、その大部分は Ge および Siに関するものであって、これらについては、その高電界での特性変化の多くは、キャリアの易動度が電界依存性を持つためとして説明されている。

いま、ここで問題とされている GaAs についても、同種の実験が二、三なされているが、易動度の電界依存性をあらかず実験事実は最近に至るまで見出されていなかった。これは2000V/cm ないし 4000V/cm 以上の高電界を加えたとき発生する電流振動、即ち、Gunn 効果による不安定性が広い範囲に亘る電流-電圧特性を測定することを妨げたためと思われる。

申請者は、キャリア濃度が温度に大きく依存し、易動度が大きい n-GaAs 単結晶を用いて n^+nn^+ 構造の試料を作り、低温でパルス法による測定を行ない、Gunn 効果と密接に関連する安定な空間電荷制限電流を観測し、60KV/cm の高い電界までの範囲に亘って、電流-電圧 ($J-V$) 特性を求めた。

その結果によると、先づ電圧を上げるに従いオームの法則からのずれが起り、電流パルスには瞬間的に大きな電流が流れるのが認められる。そしてこの $J-V$ 特性は電圧の上昇とともに $J \propto V^2$ に近づき、解析の結果、これが易動度一定の単一キャリアによる、トラップのない場合の空間電荷制限電流であることが示されている。

さらに印加電圧を高くすると、2乗特性 ($J \propto V^2$) は、Gunn 効果の臨界電圧に近い電圧において新しい特性 ($J \propto V$) に急激に変化する。これを説明するに当たって、申請者は、キャリアのドリフト速度の電荷依存性を新しく導入している。この高電圧領域での特性 ($J \propto V$) に対しても、単一キャリアで、トラップの無い場合の、空間電荷制限電流のモデルを基礎として数値的に解析し、n-GaAs の V_d-E 曲線を60KV/cm までの広い電界範囲に亘って決定した。実験データに基づくこの計算結果は、定性的には Butcher-Facett の理論と、広範囲での一致を見ている。

参考論文1は、主論文での仕事の前駆をなすもので、n-GaAs の試料を $-50^\circ\text{C} \sim -100^\circ\text{C}$ に冷却して

Gunn 発振を抑え、その臨界値以上の領域における電流飽和現象を観測している。その際、試料に着けた幾つかの電極によって、試料中の各部分における電流—電圧特性を測定し、その結果高電界領域が試料の一部に局在することを実験的に示し、その現象の起こりの理由について議論したもので、併せてこの方面に重要な知見を与えている。

論文審査の結果の要旨

半導体の空間電荷制限電流については、Schockley らをはじめとし、従来から多くの研究がなされているが、その大部分は Ge および Si に関するものである。それらにおける空間電荷制限電流が高電界で示す特性については、キャリアの易動度が電界に依存するためとして説明されている。しかし、GaAs については、このような易動度の電界依存性をあらわす実験事実は従来見出されていなかった。これは高純度の単結晶を作る面ばかりでなく、Gunn 効果による不安定性を避ける面でも大きな困難があったためと考えられる。

最近に至り GaAs 中の電子の速度に関し、理論的、実験的研究が精力的に行なわれ、Gunn 効果の臨界値以上の高電界においての事情も大分明らかになってきたが、これらの結果の間には相互に十分な一致が見られていない。

申請者はキャリア濃度の温度依存性が大きく、かつ易動度の大きい、n-GaAs の単結晶から作成した試料を、100°K 付近の低温まで冷却することにより、キャリア濃度を低下させて Gunn 発振を抑えた条件下で、安定な電圧—電流特性を観測することに成功している。即ち、このような条件下では、印加電圧が Gunn 効果の臨界値以上になっても不安定を生ずることなく、高い電界においても安定な空間電荷制限電流を測定することができた。さらにその際のキャリア易動度 V_a と電界 E との関係についても、パルス法から得た電流 J と電圧 V との相互関係を解析することによって求める新しい方法を開発し、従来主として複雑なマイクロ波技術を用いていた点を改良している。

以上の実験結果についてみると、最初試料にかける電圧を上げるに従い、オームの法則からのずれがおり、電流は電圧の上昇とともにその 2 乗に比例する特性に漸近的に近づく。申請者はこの領域での電流を、易動度一定の単一キャリアによる、トラップの無い場合の空間電荷制限電流であるとして、その特性の解析的な表現を得ている。

さらに印加電圧を高くすると Gunn 効果の臨界電圧に近い電圧において、 $J-V$ 特性は 2 乗特性 ($J \propto V^2$) から急激に新しい特性 ($J \propto V$) に移行することを見出している。これを V_a の電界依存性を新しく仮定することによって解析を加え、 $J \propto V$ 特性に対して定性的な解釈を行なっている。この中で申請者はこの領域での特性を、同じくトラップのない場合のモデルによって数値的解析を行ない、 V_a-E の曲線を 60KV/cm までの高電界にわたって決定している。この結果は Butcher-Fawcett の理論と定性的には、広い範囲で一致し、特にドリフト速度の電界依存性において、鋭いピークの存在することと、高電界での飽和という特徴的な点をよく説明している。

以上の結果は n-GaAs の空間電荷制限電流について、新たに重要な知見を加えると共に、今までに部分的に得られた実験結果を総合的に検証する重要な基盤を与えたものと言えよう。

参考論文1は、この主論文の前駆をなすもので、Gunn 発振を抑えて、臨界値以上の高電界での試料中の電位分布を測定し、高電界領域が試料の一部に局在することを実験的に示し、かつその理由について検討を加えたもので、主論文と併せてこの方面の研究に寄与するところ大であると考えられる。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値があるものと認める。