

氏名	竹 島 眞 澄 たけ しま ま すみ
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	論 理 博 第 421 号
学位授与の日付	昭 和 48 年 3 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	<b>Microwave Oscillation in Germanium Avalanche Diodes</b> (ゲルマニウムアバランシェダイオードにおけるマイクロ波発振)
論文調査委員	(主 査) 教授 中井祥夫 教授 富田和久 教授 端 恒夫 教授 田中茂利

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、ゲルマニウムの p-n 接合に臨界値以上の逆方向電圧を印加して電子流のなだれ（アラバンシェ）を起こさせた時、それに付随してマイクロ波発振を生じる現象について、発振の動作解析の一般的な方法を見出すことを意図したものである。

従来、マイクロ波アバランシェダイオードの動作解析に関する試みはいろいろとなされたが、そのあるものは小信号振巾の極限又は大信号振巾の極限といった、現実の動作とはかけ離れた条件でなされていたり、あるものはコンピューターによる数値解析に頼るために、現象の直観的な把握が困難であったりした。

本論文は、これに対して、中間信号振巾という最も現実的な動作条件のもとで、動作の基本公式を導こうとするものである。本論文の特徴とするところは、(1)イオン化係数を交流電界について展開することによってキャリアのイオン化確率の非線形的な電界依存性の効果と(2)接合層中の電界におよぼす空間電荷遮蔽の効果、を共に、基本条件の中に取り入れて、交流電界を基本周波数成分と高調波成分の二つに分け、小さな量と考えられる高調波成分に着目して逐次近似の手法によって基本波成分と高調波成分を交互に求めてゆく点にある。この方法によるときは高調波成分が小さいという仮定は電界に関してのみ必要であり、アバランシェ電流に関しては必ずしもそれが小さいという仮定を置く必要がない。したがって、解は従来の理論に比してより一般性をもち小信号は勿論、かなり大きな信号振巾の範囲にわたって普遍性をもつものとして扱おうことができる。

更に、本論文では特殊な関数を導入することにより、有限の大きさの振巾での一般解が、従来は無限小の振巾極限の仮定のもとで与えられたインピーダンスの公式と同一の形式にまとめられることが示されている。これにより、拡張された形式における発振の解析が可能になり、有限の大きさの振巾での信号理論を小信号理論と等価に取扱うことのできる根拠が与えられている。

上記の理論によってインピーダンスと発振出力の一般公式が導かれ、同時に、得られた結果の適用範囲についてもその検討を併せて行ない、上記理論がゲルマニウムダイオードの発振特性を解析するために十

分妥当であることを示している。

次に本研究では、上記の解析法の妥当性を検討する目的をもって、ゲルマニウムダイオードの発振特性を種々の条件で実測し、その結果を上記の解析結果と比較検討している。即ち、まず通常の定在波測定法によって小信号インピーダンスを求めて、基本的な三個のパラメーターを決定し、次にそれらのパラメーターのみに基づいて、インピーダンスの信号振巾依存性や、発振出力の電流依存性等を上記の解析法に従って求めたところ、その結果は実測値と極めて良好な一致を示すことが確認された。

### 論文審査の結果の要旨

申請論文は、ゲルマニウムの p-n 接合に逆方向電圧をかけることによって生じるキャリアのなだれ状態及び走行状態を解析することによって、マイクロ波発振の可能性を論証する一つの方法を提案し、実測値と比較してその妥当性をたしかめたものである。

従来、マイクロ波アバランシェダイオードの動作特性の解析については種々の理論的検討が試みられてきたが、そのあるものはあまりに簡単なモデルに依存したため実験との一致が不十分であったり、あるものはあまりに厳密解を求めんとしたため、数式が極めて複雑となり、コンピューターによる計量が主体となって、現象の物理的な把握を困難なものにするという結果となっている。

申請論文においては、(1)ゲルマニウムの直線傾斜型接合中のキャリアの振舞いに関していくつかのモデルを用い、(2)キャリアの空間電荷遮蔽の電界における高調波成分を小さな量として、逐次近似の手段によってアバランシェ電流の基本波成分を求め、それらに基づいて任意の中間信号振巾のインピーダンス及び発振出力の一般表式を得ている。同時に、得られた表式の適用範囲の検討を併せて行ない、ゲルマニウムマイクロ波アバランシェダイオードにおいて現実に得られる最大限の出力範囲まで、上記の理論が妥当であることを示した。

一方、申請論文においては、発振素子の動作面における実験的解析を、(1)小信号インピーダンスと電流、(2)インピーダンスパラメーターとダイオードの雪崩れ降伏電圧、(3)発振出力と電流、などの関係において行ない、発振素子の動作上の特性を明確ならしめるとともに、上記理論的解析の結果と実験事実とが極めて良好な一致を示すことを確認した。

上記の中間信号インピーダンスについて導かれた関係式は申請者によってはじめて導出されたもので、発振特性を解析するための基礎となるものである。この関係式は、従来の小信号インピーダンスの場合に成立つ関係を拡張した形式で与えられている。すなわち、従来は発振特性の推定のための定性的手段でしかなかった小信号インピーダンス解析を、定量的解析のための基礎たらしめる点に、本論文で得られた結果の意義が存在する。例えば、実験によって小信号インピーダンスの三つのパラメーターを知ることによって発振出力の推定をすることが可能となり、本論文で得られた関係式は論文題目に示されているゲルマニウムダイオードのみに限らず、Si や GaAs などを用いたアバランシェダイオードにおいても広く適用可能である。

更に得られた発振出力の表式は、発振出力と電流、周波数、降伏電圧、直列抵抗などとの関係を明確ならしめており、発振機構解析のための基礎として有用であるばかりでなく、今後この分野での研究の発展

の重要な緒となるものと考えられる。

上述の如く申請論文は、マイクロ波固体素子研究の分野において、その理論的、実験的成果を一步おし進めたものとして評価することが出来、申請者が物性物理学の分野、特に半導体に関する固体電子物理学の分野において広い知識とすぐれた研究能力をもつことを示している。

よって、本論文は理学博士の学位論文としての価値あるものと認める。