

氏 名	久 留 勇 く る いさむ
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	論 工 博 第 506 号
学位授与の日付	昭 和 47 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	n 型 GaAs 結晶のガン発振現象とそのマイクロ波発振素子 への応用の研究
論文調査委員	(主 査) 教 授 田 中 哲 郎 教 授 川 端 昭 教 授 高 木 俊 宜

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は n 型 GaAs 結晶に現われるガン (Gunn) 発振現象に関して著者が行なった研究成果, ならびにこれをマイクロ波発振素子として応用するために行なった研究の結果をまとめたもので, 5 章より成る。ガン発振現象は n 型 GaAs 結晶のもつ特殊なエネルギー帯構造に基づくものであるが, その発振機構に関して最も特長的な点は, 高い電界を加えたとき結晶内部に高電界ドメインが発生し, これが陰極から陽極に向かって成長しながら高速度で走行することである。本論文の前半 (第 1 章と第 2 章) ではガン発振現象の理論を扱っており, 高電界ドメインの性質に関して著者の行なった研究結果は第 2 章で詳述されている。本論文の後半 (第 3 章と第 4 章) ではマイクロ波発振素子として応用する場合の電気回路との結合の問題, 実用素子の製作や試験あるいは信頼性など, 主として工学的な問題に関する研究結果を扱っている。以下各章ごとの内容を要約して述べる。

第 1 章は, ガン効果の理論に関する従来の研究結果を総括したもので, 1963 年に Gunn によってこの効果が発見されて以来, 発振原理, 発振機構, 現象の解析などに関して行なわれた多くの人たちの研究経過を述べ, 著者の研究に対する歴史的背景を明確にするとともに, 著者の研究の位置づけをするのに役立たせている。

第 2 章では, ガン発振の際に結晶内部に現われる高電界ドメインの電氣的性質について, 著者の行なった研究成果を述べている。著者は階段状パルス電圧を用いてドメインの過渡応答を測定し, ドメインが一定の電荷を蓄積した容量とみなされること, またドメインの両端の電圧 (ドメイン電圧) と蓄積電荷との関係から, ドメインの形状についての知見が得られることを示している。また素子の表面電位の分布をすぐれた分解能をもつ容量性プローブを用いて測定することにより, ドメインが素子内部を走行している状態を知り, その速度, 形状, 大きさなどの知識を得た。またドメインの蓄積電荷が発生する電気力線を外部へ導き, たとえば高誘電率物質で装荷することによりドメインを制御することが可能であり, この方法により新しい機能素子を得る可能性のあることを示している。

第3章では、ガン発振現象と外部電気回路との結合について扱っている。ガン発振を最も効率よく利用するために必要な発振波形について理論的に考察し、これを実現する回路を求めている。実現可能な波形として基本波と第2高調波成分のみを含む場合を検討し、正弦波動作の場合の4倍強に及ぶ高効率を得られることを示している。また理論を確認するために方形波電圧による動作を検討し、理論に一致する結果が得られることを確かめ、この高効率発振動作理論が実際の回路構成を考える上に有用であることを示している。なおこの章の末尾にはドメイン成長過程に関する考察が述べられており、ドメイン成長時間が素子の $n \cdot 1$ 積によって規定され、ドメイン成長時間がドメイン走行時間の $\frac{1}{2}$ に等しいという条件から、ドメイン発生の限界値として従来知られていた $n \cdot 1$ 積限界値が求められることが示されている。

第4章では、ガン効果素子を実用するに当たって問題となる結晶の特性、素子の製法、素子の特性及びその信頼性などについて述べている。優れたガン発振特性をうするためには、まず結晶の規則性、キャリア密度、電子移動度、均一性などに制約があるが、これらを満足する結晶及び素子の製法について詳細に述べている。次に素子の初期特性、直流特性やマイクロ波発振特性などの間の関係を検討し、ガン発振素子の良否を判定する規準を与え、またガン発振素子を他の種のマイクロ波発振素子と比較してその工学的な位置づけを行なっている。最後にガン発振素子に観測される動作特性の劣化現象について検討し、強制劣化の実験その他の実験により劣化要因を追及している。そして劣化現象は素子の抵抗値の増大と対応して起こり、劣化の活性化エネルギーが $2.2 \sim 2.6 \text{ eV}$ であること、 10^5 時間以上の動作寿命を要求する場合には、素子内部の最高温度を 220°C 以下におさえる必要があることなどを述べている。

第5章は結論で、上記の研究成果を総括して述べてある。

論文審査の結果の要旨

ガン発振現象、すなわち n 型GaAsの結晶に高電界を加えた場合に現われる高周波の発振現象は、1963年Gunnによって発見されたものであるが、その後多くの研究者の注目をうけ、その発振原理や発振機構が解明されるとともに、これを応用したマイクロ波発振素子もすでに実用の域に達している。本論文において著者はまず独自の方法を用いて発振機構、とくに高電界ドメインの性質とその動作を解明して、学術的進歩に貢献するとともに、これをマイクロ波発振素子として応用する際の工学的諸問題、すなわち電気回路との結合の問題や実用素子の製作上の諸問題などを扱って成果をあげ、多くの新しい知見や設計資料を提供している。著者の研究に基づく主な成果はつぎのとおりである。

1. ガン発振現象の基本的要因である高電界ドメインが、電荷を蓄積した一種のコンデンサと見なしうることから、特殊な回路を工夫して素子に階段状パルス電圧を加え、その電流波形からドメインの充放電に基づく電流を求め、ドメインの蓄積電荷量やドメイン電圧あるいはドメインの形状などを推定した。

2. 優れた分解能をもつ容量性のプローブを作って、ガン発振素子の表面電位の分布とその時間的変化を測定し、ドメインの速度、形状、大きさなどを導いた。その結果完全に成長したドメインでは、速度が約 $8 \times 10^8 \text{ cm/sec}$ で電子の飽和速度に近いこと、ドメインの形状は電界が非常に高い場合でもおおむね直角三角形と考えてよいこと、ドメインの蓄積電荷や最高電界なども印加電圧の関数として容易に算出できることを示し、発振機構の解明に寄与した。

3. ドメインの蓄積電荷より発生する電気力線を外部に導いて高誘電率誘電体を装荷したとき、これがドメインに及ぼす効果について調査し、適当な条件のもとではドメインの発生を防ぎうることを確認し、ドメインを制御する新しい機能素子の可能性を示した。

4. ガン効果をマイクロ波発振素子として効率よく利用するために、素子と外部回路との結合の問題を検討し、ドメイン走行姿態発振を最高の効率で利用するための端子電圧、及び電流の理想波形を導いた。そしてこの波形に十分近い実現可能な波形として、基本波と第2高調波のみを含む端子電圧について検討し、単純な正弦波動作の4倍強に及ぶ効率が得られることを示し、さらに方形波端子電圧による動作を実験して、理論動作に近い結果を得るなど、実際の回路構成に有益な多くの指針を与えた。

5. ガン効果を利用した実用的なマイクロ波発振素子をつくる立場から、n型GaAs結晶の具備すべき性質を検討し、さらに製作工程中の問題点を明らかにするとともに、素子の直流特性、マイクロ波発振特性などの間の関係を明確にして、素子の良否判定基準を与えるなど、製作上有益な多くの示唆を与えた。

6. この種の素子では動作中に特性劣化の傾向がみられるが、著者は信頼性を明らかにするために、強制劣化の実験などにより劣化の活性化エネルギーを求め、これが2.2~2.6 eVであって、 10^5 時間以上の動作寿命を確保するには、素子内部の最高温度を220°C以下にする必要があることを示した。

以上の成果は学術上のみならず工業上にも貢献するところが少くない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。