

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 GONG SHAOYAN
学位 博士 (工学)
学位記番号 新大院博(工)第445号
学位授与の日付 平成28年3月23日
学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当
博士論文名 Experimental Studies on Terahertz Backward Wave Oscillator Driven by Weakly Relativistic Electron Beam
(弱い相対論的電子ビームを用いたテラヘルツ帯後進波発振器の実験的研究)

論文審査委員 主査 教授・小椋 一夫
副査 教授・福井 聡
副査 教授・加藤 景三
副査 教授・山田 寛喜
副査 准教授・菅原 晃
副査 准教授・山家 清之

博士論文の要旨

弱い相対論的電子ビームにより駆動する後進波発振器による大強度テラヘルツ波発生を研究している。後進波発振器において大口径の導波管を用いることで高周波化と同時に大強度化を目指し、高温プラズマへの応用で重要となる170GHz帯(G-band:140-220GHz)において後進波発振器の動作特性を明らかにしている。本論文の構成は以下のとおりである。

第1章では本論文の背景、目的と構成を述べている。テラヘルツ帯におけるマイクロ波源としての大口径後進波発振器の意義、他の大電力マイクロ波源であるジャイロトロン等と比べた位置付けを述べている。

第2章では、本研究に用いている2種類のG-band遅波導波管について述べている。周期的なコルゲート構造によるG-band遅波導波管を作製し、製作精度の評価、製作誤差による影響を調べている。また、軸対称モードに加えて非軸対称モードの分散特性も明らかにしている。非常に多くの非軸対称モードが軸対称モードの近くに存在しており、G-band遅波導波管はマルチモードシステムと言える。

第3章では、電子ビームの形成、放出機構や実験に用いている冷陰極について述べている。冷陰極からの電子放出機構としてExplosive Electron Emission (EEE)により陰極表面に生成された高密度プラズマから電子が放出され、大電流電子ビームが形成される。しかし、弱い相対論領域においては均一な電子ビームの形成が非常に困難である。本論文ではディスク型の冷陰極の先端に誘電体繊維(バルベット)を貼り付けることで、均一な電子ビームを得ている。一般的に使用される熱陰極に対して、構造が簡単であり、本論文の特徴の一つである。

第4章では、G-band遅波導波管を用いたテラヘルツ波発生実験について述べている。発振周波数、放射パターンと出力特性を明らかにした。発振周波数はカットオフ周波数の異なるハイパスフィルターによって評価している。放射パターンを調べる角度分布測定実験ではG-band後進波発振器が、単一モードに基づく理論値よりも幅広い角度で電磁波を放射していることを明らかにし、数値計算によるマルチモード動作と定性的には一致していることを示した。

G-band 後進波発振器の出力 P と発振周波数 f の関係は、ほぼ $Pf^2=3.5 \times 10^2$ [MW·GHz²] であった。これまで報告されている 25 GHz (K-band), 40 GHz (Q-band) における弱い相対論的後進波発振器で得られているものとほぼ同じ特性が得られた。これによると、1 THz で数百 W の発振が可能で、代表的な大強度テラヘルツ波源であるジャイロトロンと同程度の大強度動作が可能となる。本論文の特徴は、ジャイロトロンの高周波化には強磁場が必要になり、コンパクト化は困難であるのに対して、強磁場が不要で装置のコンパクト化が図れることである。

5 章では、後進波発振器の発振のスタート条件を述べている。発振条件としてはスタート電流が知られているが、本論文では大強度発振に対してスタート電圧が存在することを明らかにした。スタート電流は、ジャイロトロンやその他の発振器においても、その存在は知られており、研究されてきたものである。スタート電圧は、テラヘルツ帯後進波発振器においては本論文が初めて示したものである。有限の系における定在波の不安定性であるグローバル不安定性に基づいた理論により実験結果を見事に説明している。スタート電圧を満たせば 3 から 4 桁増加という非常に大きい出力が得られることを示しており、テラヘルツ帯マイクロ波源の大強度化において、大変重要な成果である。

第 6 章では、これらの結果をまとめている。

審査結果の要旨

本論文で報告されている後進波発振器は、磁場システムの小型化・簡素化による軽量・コンパクトな大強度テラヘルツ波源の開発を目指している。後進波発振器において大口径の導波管を用いることで高周波化と同時に大強度化を実現している。本論文で実現されている 170GHz 帯における大強度動作は、核融合を目指した高温プラズマ研究では大変重要なものである。テラヘルツ帯後進波発振器の発振のスタート条件を調べ、大強度発振に対してスタート電圧が存在することを明らかにしている。これまでの研究では、発振条件としてスタート電流が知られており、ジャイロトロンやその他の発振器においても研究されてきたものであるが、スタート電圧の存在は、テラヘルツ帯後進波発振器においては本論文が初めて明らかにした。本論文では、有限の系における定在波の不安定性であるグローバル不安定性に基づいた理論により実験結果を見事に説明している。スタート電圧を満たすことで大幅な出力増加が得られることを示しており、テラヘルツ帯マイクロ波源の大強度動作において画期的な成果である。100kV 以下の弱い相対論的領域での動作であり、大強度テラヘルツ波源としての後進波発振器の格段の小型化が可能であり、実用化において大変有用な成果と言える。

以上のように本論文は、大強度テラヘルツ波源に対して独創的かつ重要な成果を報告しており、工学および科学研究等に貢献するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の博士論文として十分であると認定した。