

ふりがな やまざき ほしゆき
氏名 山 寄 星 征
学位 博 士 (工 学)
学位記番号 新大院博(工)第188号
学位授与の日付 平成17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 Numerical Study on High-Frequency and Compact Backward Wave
Oscillator
(高周波数化及び小型化を目指した後進波発振器に関する数値解析)

論文審査委員 主査 教授 小椋 一夫
副査 教授 山口 貢
副査 教授 石田 昭男
副査 教授 丸山 武男
副査 教授 山口 芳雄
副査 助教授 菅原 晃

博士論文の要旨

大強度電子ビームにより駆動する後進波発振器において、低磁場領域での動作と大口径化による高周波数化を提案している。低磁場化により大電力後進波発振器の磁場システムの小型化・簡素化が可能となるが、発振動作を解析するためには電子ビームの3次元的な運動を正しく扱うことが必要となる。本論文では電子ビームの3次元的な擾乱と境界条件をセルフコンシステントに扱った解析を行い、電子ビームモードと電磁波モードおよびそれらの相互作用を明らかにしている。また、高周波数化のために大口径後進波発振器を提案し、そこで使用される大口径遅波導波管の電磁場特性と発振動作特性について定量的な評価を行っている。本論文が提案している高周波数化大口径後進波発振器の特徴として、100kV以下の弱い相対論的領域での動作がある。従来のものに比べてビーム電源が格段に小型化される。

本論文は7つの章から構成されている。第1章では他の大電力マイクロ波源や速波サイクロトロンメーザであるジャイロトロンと比較し、ミリ波帯における軽量・コンパクトな大電力マイクロ波源としての後進波発振器の意義と位置付けが述べられている。

第2章では、数値解析に使用する計算手法について述べられている。ビーム・電磁波相互作用をセルフコンシステントに解析するため、Rayleigh 仮説に基づいた Rayleigh-Bessel 法を用いている。Rayleigh-Bessel 法は発振特性解析や装置設計に必要不可欠であるが、Rayleigh 仮説に伴う適用限界が存在する。本研究では、Rayleigh 仮説を用いない解析コード HIDM(higher-order implicit difference method)による結果との比較検討を行っている。HIDMは非線形な固有値問題や境界値を数学的に高精度かつ安定に解くことができる計算機コードである。HIDMにビーム・電磁波相互作用を取り入れることには成功していないが、導波管中の電磁場特性を導出し、比較することで、Rayleigh-Bessel 法の正当性、適用限界および精度を評価している。

第3章では、遅波導波管中の非軸対称モードについて述べている。セルフコンシステントな解析の必要性を明らかにし、非軸対称遅波サイクロトロン相互作用について報告している。この相互作用は従来の理論では扱うことが困難で、本論文のセルフコンシステントな解析により初めて示される相互作用である。

第4章では、低磁場領域における後進波発振器の動作が解析されている。低磁場領域においては、非軸対称遅波サイクロtron相互作用が強くなることを明らかにした。従来のチェレンコフ相互作用に代わる発振機構として有望であり重要な成果と言える。

第5章では、高周波数化を目的とした大口径後進波発振器について述べられている。使用する大口径遅波導波管中の電磁波モードは表面波であり、ビームの形状とビームの入射精度が大変に重要となる。実験との比較を行いビーム径の影響を確認している。

第6章では、大口径遅波導波管の有限長の効果についての解析結果を報告している。この効果は軸方向モードとして現れる。大口径後進波発振器では、発振に必要な最低限の電圧である発振スタート電圧が存在する。数値解析によりこの電圧を求め、実験結果と比較し確認を行っている。また、軸方向モードによる発振出力特性についても述べている。

第7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の低磁場領域における動作は、磁場システムの小型化・簡素化による軽量・コンパクトな大電力遅波マイクロ波源の開発に重要な役割を果たすものと言える。電子ビームの3次元的な擾乱に加え境界条件も正確に取り入れてセルフコンシステントに解析することが必要となるが、使用したセルフコンシステントな計算手法に対して正当性、適用限界および精度について明確に示している。その上で、非軸対称モードにおける遅波サイクロtron相互作用の重要性を示し、従来のチェレンコフ相互作用とは異なる発振機構を提案している。また、遅波電磁波源の高周波数化の問題に対しては、大口径の後進波発振器を提案している。100kV以下の弱い相対論的領域での動作であり、従来の後進波発振器に比べてビーム電源の格段の小型化が可能である。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、大電力遅波マイクロ波源の小型化および高周波数化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。