

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 安中 裕大  
 学位 博士 (工学)  
 学位記番号 新大院博 (工) 第 484 号  
 学位授与の日付 平成 30 年 9 月 20 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 コルゲート導波管を用いた周波数可変なテラヘルツ波源の研究

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 准教授・菅原 晃  
 副査 准教授・山家 清之

博士論文の要旨

本論文では、円筒型の導波管の内壁に周期構造を持つコルゲート導波管を弱い相対論的電子ビームにより駆動することで周波数可変なテラヘルツ波源の研究を行っている。周期構造を用いた電磁波源としては、Smith-Purcell Free Electron Laser (SP-FEL), Ledatron や表面波発振器(surface wave oscillator: SWO)があり、それぞれを高周波化することで大強度テラヘルツ源の開発が進められている。本論文は、コルゲート導波管におけるこれら 3つの動作原理による放射を測定し、大強度テラヘルツ波源への応用について調べている。

表面波発振器は周期構造表面に形成される遅波領域の表面波を電子ビームで励起することで大強度電磁波を発生させる。表面波の群速度に応じて、後進波管 (backward wave oscillator: BWO) 動作あるいは進行波管 (traveling wave tube: TWT) 動作となる。表面波放射の高周波化には周期構造を小さくする必要があるが、テラヘルツ領域では製作精度が大きな問題となってくる。そこで表面波より数倍高い周波数で動作させることが出来る SP-FEL や Ledatron の原理を利用したテラヘルツ波源の開発が必要不可欠となる。Ledatron は遅波構造を含む共振器に形成される速波領域の共振モードを用いるが、大強度化と周波数帯域を明らかにする必要がある。SP-FEL では、電子ビームが周期構造を通過することで生じる速波領域の Smith-Purcell (SP) 放射を使うが、自然放射のため強度は弱い。ビーム・バンチングによる誘導放射を取り入れた SP 放射の大強化や周波数の上限など調べていく必要がある。

本研究では、まず 0.1 THz 帯の表面波放射を調べ、BWO 動作と TWT 動作を明らかにし、それぞれの放射強度を評価している。次に 25 GHz 帯の表面波発振器実験により、25 GHz で表面波放射を、75 GHz まで Ledatron 放射を、150 GHz までの周波数で SP 放射を確認した。コルゲート導波管における Ledatron 放射の出力は表面波放射と同程度になることが確認された。また、表面波と電子ビームの非線形相互作用によって表面波の整数倍の周波数で時間的高調波が生じるが、SP 放射と高調波の周波数が一致する場合に出力が増大することが示された。また高調波による放射強度増大の効果は周期構造の長さで変化することが示されており、SP 放射強度の制御機構として注目に値する。

以上の通り、コルゲート導波管を用いて表面波放射、Ledatron 放射および SP 放射の 3 つの放射特性を明らかにし、25 GHz から 0.1 THz 以上の周波数帯で大強度電磁波の発生に成功している。Ledatron 放射や SP 放射により、表面波の 6 倍までの周波数帯域での大強度放射が得られており、周波数可変なテラヘルツ波源を開発する上で非常に重要な研究成果である。

#### 審査結果の要旨

本研究は、表面波発振器において周期構造により生成される表面波の整数倍の周波数で生じる時間的高調波を用いて Ledatron 放射および SP 放射の大強化を図るという独創的な発想により大強度テラヘルツ波源を実現している。電子ビームとプラズマ波動の速波・遅波相互作用や非線形相互作用によるビーム・バンチングなど基礎的・学術的にも重要な内容であるばかりでなく、大強度・広帯域テラヘルツ波源の開発にも非常に価値あるものと評価できる。また、周期構造が形成する表面波は疑似プラズモンと呼ばれ、その周波数は周期構造の寸法で制御することができるため、物質の電子物性で決まる通常のプラズマ波動では得られないテラヘルツ帯の周波数も可能となる。本研究で明らかにされた疑似プラズモンやその数倍の周波数領域での大強度動作は、テラヘルツ波の伝搬・制御などへの応用などにおいても非常に価値あるものと評価できる。本論文の研究成果は権威ある学術雑誌に掲載されていることなどからも、研究水準も十分であると判断した。

以上のように本論文は、大強度・広帯域テラヘルツ波発生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。