

審査の結果の要旨

氏 名 門 内 靖 明

本論文は、テラヘルツ波の放射パターンを自在に制御することを目的として、構造化された表面からの散乱に基づいて回折波ビームを制御する技術を提案・確立したものである。テラヘルツ波とは、電波と光の間のおよそ0.1THz から10 THz 程度の周波数を持つ電磁波の総称であり、電波と光の両方の性質を兼ね揃えることから、通信や計測に大きな変革をもたらすものと期待されている。しかしながら、テラヘルツ帯においては、フェーズドアレイのようなビームステアリング技術の実現が位相遅延器集積化の観点から困難であった。本論文では、空間処理型の光学系に着想を得て、プログラマブルな回折格子によってビームステアリングを実現することが提案されている。具体的には次の3つの技術、すなわち、導波路上を伝搬する表面波を特定の位相差で空中に散乱することによるビーム形成、静電気力によってパターンが可変な反射型回折格子による回折波のビームステアリング、およびそれらを組み合わせた可変な導波路散乱が順に実施され、コンパクトに集積化されたシステムによるテラヘルツ波ビームステアリング手法が確立されている。本論文は以下の7章からなっている。

第1章は序論であり、本論文の研究背景と着眼点について述べられている。本論文が対象とするビームステアリング技術の位置づけが明確にされている。

第2章はテラヘルツ波の生成、検出、波動伝搬に関するレビューに充てられている。特に以降の章の実験で用いられるテラヘルツ帯時間領域分光の原理について詳述されている。また、テラヘルツ波の自由伝搬損失および大気減衰について詳細な説明がなされており、通信や計測においてテラヘルツ波を伝送する際にビームステアリングが重要となることが述べられている。

第3章は、第4章および第6章で用いられるテラヘルツ波の表面波導波路に関するレビューに充てられている。金属表面に微細構造を作製することで、表面に強く局在しながら伝搬する電磁波のモードが存在することが説明されており、様々な構造例が挙げられている。

第4章では、テラヘルツ波の表面波導波路に散乱体を組み込むことで、表面波を空中に特定の位相差分布で次々と散乱・合成してビームを形成する技術が提案されている。試作されたデバイスを用いた実験により、0.3 THz 付近で回折限界まで絞られた焦点が

形成されたことが実証されている。また、散乱によって生じるグレーティングローブをキャンセルする手法も提案され、シミュレーションによってその有効性が検証されている。

第5章では、静電気力によってパターンが自在にプログラム可能な反射型回折格子が作製され、それを用いたテラヘルツ波ビームステアリングが実験的に実証されている。光マイクロマシンで用いられる反射型回折格子に比べると、テラヘルツ帯では約100倍大きな可動範囲が要求されるため、金属エッチングやフレキシブル基板電極などを組み合わせた新規な構造が提案されている。試作されたデバイスを用いた実験では、0.1~0.9 THzの高帯域にわたって指向性ビームのステアリングが実証され、特に0.3 THz付近では40度以上の走査角レンジが達成されている。また、指向性ビームのみならず、集束ビームのステアリングも実証されている。

第6章では、第4章と第5章の結果を踏まえ、導波路表面に可変な散乱体を導入することで散乱波のステアリングを実施する概念が提案され、シミュレーションによってその原理と有効性が確認されている。これは第5章の反射型回折格子が平面波を入射波としていたのに対して、導波モードを入射波として与えるものであり、システムの集積化につながる成果である。また、その原理実証として、2.4 GHzのマイクロ波帯においてデバイスの作製と実験が行われている。多数直列に接続された電界効果トランジスタによって表面インピーダンスの変調を受けたマイクロ波表面波が空中に散乱されることで、マイクロ波ビームのステアリングが可能なことが実証されている。なお、本実験はテラヘルツ帯の予備実験という位置づけであると同時に、マイクロ波帯固有のアプリケーションも目指した成果である。

第7章では、本論文の結論および今後の展望およびアプリケーションについて述べられている。

以上要するに、本論文は構造化された表面からの散乱に基づき、テラヘルツ波のビームステアリングを実現する新規な技術を提案・確立したものである。本論文の成果は、計測工学をはじめ無線通信、ヒューマンインタフェース、ロボティクスなどの諸分野に貢献する。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。