

審査の結果の要旨

氏名 陳文静

本論文は「NIR Spectrometer by a Schottky Photodetector with an Au Grating (金回折格子を有するショットキー型光検出器による近赤外分光器)」と題し、5章から構成される。

第1章「Introduction」では、研究背景、従来研究とその課題、本研究の目的と意義について述べている。従来の分光器では、回折格子に入射した光が反射するとき、光が強め合う反射角度が波長に依存することを利用し、反射角と反射回折光の強度を、フォトダイオードアレイを使い検出して、波長に対する光のスペクトルを求めている。しかしながら、高い分解能の分光器では、反射後の光路を長くとる必要がある。光路を長くとれない小型の分光器では、回折格子の反射光を使う限り高い分解能を達成することが原理的に困難で、高い分解能を有する計測法が求められていた。この課題に対して、本論文で提案する分光器は、反射型の分光器と同様、回折格子は使うものの、光の波長と回折格子のピッチで決まる特定の入射角で、回折格子表面の電子が共鳴し (SPR, Surface Plasmon Resonance, 表面プラズモン共鳴)、入射光の強度に依存して金属面から Si 基板面に電子が流れることを利用するものである。入射角度と電流値の関係から入射光のスペクトルを求めることが可能なので、反射光を遠方で測定する必要がなく、小型化と高分解能を両立できる点が有効な点としている。

第2章「Theory」では、本論文の分光器の原理と構造について述べている。本論文の分光器の構造は、n型シリコン基板上に金膜の回折格子を形成したものである。光の波長に対して、回折格子のピッチと入射角とが電子の共鳴条件を満たすとき、電子のエネルギーが増加し、金回折格子からシリコン基板に電子が流れる。このときの電流の大きさは、共鳴条件をみたしている光の強度に依存する。具体的には、入射角と波長を変えながら単一波長の光を分光器に照射し、その際に生じる電流を計測して、電流と光の強度の比を要素とする行列 (Responsivity Matrix) を実験的に求め、次に、逆問題を解くことで電流から光のスペクトルを分光器として求められるとしている。具体的には、角度毎に計測した光による電流の値からなる列ベクトルに Responsivity Matrix の逆行列をかけることによって、光の波長ごとの強度 (スペクトル) を求める方法を示している。

第3章「Simulation and Fabrication」では、回折格子の高さ、金膜の厚み、回折格子のピッチと凸部の割合 (fill factor) を変えて SPR の励起状態をシミュレーションし、回折格子の幾何学的な形状がこの分光器の分解能に与える影響を確かめている。また、金回折格子とシリコン基板との間のショットキー障壁の値を実験から求め、入射光が近赤外線であれば SPR によって励起された電子がこの障壁を越えられるので、近赤外線の分光ができるとしている。金回折格子の作成は、n型シリコン基板上にパターンニングしたレジストに金膜を成膜し、レジストとその上の金をエッチング除去 (リフトオフ) したのち、さらに金を成膜するリフトオフプロセスを利用している。また、電流取り出し用のカソード電極として、シリコン基板背面にアルミを成膜している。

第4章「Experiment and Result」では、入射光に対する反射回折光の強度を光検出器で、また、金回折格子とシリコン基板との間を流れる電流を電流計で計測し、SPR の生じる入射角度で、光による電流が強く生じていることを確認している。さらに、入射波長とシリコン基板の角度を変えながら電流値を計測することで、Responsivity Matrix の具体的な数値を計測している。この行列の対角成分は SPR が励起されている状態に対応していて、ほかの成分に比べて大きな値をとるので、逆行列が存在するとし、実際に逆行列を計算して電流値から入射光のスペクトルを求めている。有効性を実証するために、単一の波長の光を照射したとき、2つ、3つ、そして4つの波長の光を照射した場合の光電流から、照射した光のスペクトルを求める実験を行っている。市販されている2つの分光器と、提案する分光器とで、この実験結果のスペクトルを比較しており、整合のとれた結果がえられるとしている。

第5章「Conclusion」では、本論文で得られた実験結果をもとに結論を述べている。

以上要するに、本論文では、金回折格子に入射した光により、金膜の電子が波長依存性をもって共鳴し、電子のエネルギーが高くなることで金膜とシリコン基板間の障壁を超えてシリコン基板に電子が流入し、その大きさが入射光強度に依存する性質を利用する分光器を提案している。光強度に対する電流の関係を入射角ごとにあらかじめ求め、逆問題として電流から光強度のスペクトルを求めている。これにより、高い分解能をもつ小型の分光器が可能であると述べている。この点から本論文は、知能機械情報学の発展に貢献したものであって、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。