

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 （ 工 学 ）	氏名	Amrita Kumar Sana
学位授与の要件	学位規則第4条第①・2項該当		
論文題目 Research on Two Dimensional Silicon Photonic Resonators for Label Free Detection of Biomaterials (非標識生体物質検出のための二次元シリコン光共振器の研究)			
論文審査担当者			
主 査	教 授	横 山	新
審査委員	教 授	吉 川	公 磨
審査委員	教 授	黒 田	章 夫
審査委員	教 授	岩 坂	正 和
〔論文審査の要旨〕			
<p>抗原やウイルスなどの生体物質の検出は病気の早期発見のために極めて重要である。検出法には、標識法と非標識法の2種類がある。標識法は極めて高感度だが、標識作業が必要である上、標識剤による検体の構造変化があるため、高感度な非標識検出法が求められている。蛍光標識を用いる酵素結合免疫吸着法や、非標識の表面プラズモン共鳴法などが実用化されているが、どちらも、大型・高価であり、家庭で手軽に利用できる状況にはない。</p> <p>本研究では、半導体技術を駆使して家庭で手軽に測定できる非標識生体物質検出器（以後バイオセンサーと呼ぶ）を開発する。電気、磁気、光の3種類の検出方法がある。電氣的検出法は極めて高感度だが、生体物質は通常帯電しているため目的とする検体を選択的に検出することが難しい。磁氣的検出には標識が不可欠である。光検出法は、高感度で選択的非標識検出が容易であるが、大型という問題がある。本研究では、光検出法を採用し、リング共振器に比べ40倍近く共振の急峻性（以後Q値と呼ぶ）の高い「フォトニック結晶光共振器」を用いて、小型のバイオセンサーを開発することを目的とする。その設計・作製方法を中心に研究した結果、世界最高レベルのQ値と感度を持つバイオセンサーを実現した。</p> <p>本論文の第1章では、バイオセンサーと光共振器に関する研究背景と基礎事項について述べている。</p> <p>第2章では、シリコンフォトニック結晶光共振器バイオセンサーの動作原理について述べた。共振器部分の孔を欠損させたディフェクト型と、共振器部分に周囲より大きい孔を設けたキャビティー型について比較し、キャビティー型の方が、検体吸着面積が広く高感度なことを述べている。</p> <p>第3章では、バイオセンサーの製法と測定法について述べている。電子ビーム露光とドライエッチングを用いて製作した。可変整形型とポイントビーム型の2種類の電子ビーム露光装置を比較した結果、ポイントビーム型の方が、フォトニック結晶が正確かつ高均一に製作でき、高いQ値が得られることが確認された。</p> <p>第4章では、バイオセンサーの設計パラメータと、ショ糖溶液による測定結果を比較した。共振キャビティーが1つのシングルキャビティーに比べ2つあるダブルキャビティーの方が高感度なことが確認された。また、キャビティー周囲の孔径の影響について調べた結果、光強度がキャビティー周囲に集中するため、その部分の孔径を調整することによ</p>			

てQ値が増大することが見出された。また、水溶液中でのQ値として最高値の 2×10^5 、屈折率変化の検出感度として最高レベルの 4×10^{-6} という値が得られている。

第5章では、前立腺特異抗原を用いて、抗原 - 抗体反応を検出した。その結果、0.01 ng/mLと、実用検出濃度 1ng/mL の 1/100 の検出濃度が達成された。

第6章では、シリコン光共振器の温度依存性の機構とその改善法について述べている。共振波長変化の主な原因は、シリコンの屈折率の温度変化であり、温度変化による形状歪みの影響は無視できることが明らかにされた。温度特性の改善法として、2つの共振器出力の差スペクトルを用いる差動検出法を適用し、その有効性が理論と実験により確認された。

第7章では、結論が以下のようにまとめられている。

1. シリコンフォトニック結晶光共振器をバイオセンサーとして用い、世界最高レベルのQ値と屈折率検出感度を達成した。
2. 前立腺特異抗原を実用感度を2桁上回る感度で検出した。
3. 差動検出法により高い温度安定性を得る方法を立証した。

以上のように、本論文は、実用的感度を超える小型のバイオセンサーを実現し、その温度変化の機構を明らかにし、その改善法を立証した点において、学問的および工学的意義が大きい。よって、本論文の著者は、博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。