

※課題番号 : F-12-TU-0074
※支援課題名 (日本語) : 負誘電率領域のフォノン-プラズモン共鳴を用いたテラヘルツ波発生・検出の研究
※Program Title (in English) : Terahertz emission and detection using resonances of surface phonons and plasmons in the negative-epsilon regime
※利用者名 (日本語) : 四方 潤一
※Username (in English) : Jun-ichi Shikata
※所属名 (日本語) : 日本大学
※Affiliation (in English) : Nihon University

※研究概要 (Summary) :

負誘電率特性をもつ表面波を介したテラヘルツ波と光波の相互周波数変換の本質を理解するため、以下の研究を行う。(1)テラヘルツ波発生に用いてきた非線形光学結晶 LiNbO_3 を第一候補として、表面フォノンからの放射特性と、表面プラズモンとの共鳴効果を数値計算により明らかにする。(2)非線形光学結晶の表面微細加工を行い、これを試料として、表面フォノン発生とテラヘルツ波放射の実験を行う。(3)試料に金属 (Au) 薄膜を施し、表面フォノン-表面プラズモン共鳴実験を行う。また、発生の逆プロセスとして、テラヘルツ波の光読み出し実験を行う。

※実験 (Experimental) :

LiNbO_3 結晶中の A_1 対称フォノンモードを用いた表面テラヘルツ波発生・検出のデバイス作製のため、本センターの施設の利用および技術支援を得て、マスクパターンの作製および LiNbO_3 基板への微細周期凹凸構造加工の試作を行った。

まず、作成した CAD データをパターンジェネレーターに転送し、クロムマスク基板の露光と現像・エッチングを行い、微細周期構造を有するマスク作製を行った。次に LiNbO_3 基板にフォトレジストを塗布してプリベークを行い、さらに両面アライナによる露光と現像およびポストベークを行うことにより、微細周期構造のレジストパターンニングを行った。これを多用途 RIE 装置に設置し、 CF_4 ガスを用いて LiNbO_3 基板のドライエッチング加工を行い、レジスト剥離後に接触段差計を用いてエッチング深さを評価した。

※結果と考察 (Results and Discussion) :

まずクロムマスクおよびフォトレジストの微細周期パターンの作製においては、光学顕微鏡観察により所望の周期構造が基板全体に形成されていることを確認した。テラヘルツ帯表面波共鳴の光学実験においては、数%以下程度の加工精度が要求されるが、形成された微細周期パターンは十分に高い精度が実現されていることが確かめられた。

ドライエッチングにおいては、加工例の少ない LiNbO_3 結晶であるため、2枚の基板を用いて条件出しを行った。20分のエッチング試行を行い、フォトレジスト(膜厚約 $3.4\mu\text{m}$)のエッチングレートは約 $0.03\mu\text{m}/\text{min}$ であった。したがって、本 RIE 装置ではエッチング時間は最長で1時間程度までの加工が可能であることを明らかにした。これに基づいて1時間のエッチング加工を進めたところ、基板のエッチング深さは約 80nm で、エッチングレートは約 $1.3\text{nm}/\text{min}$ 程度であることが判明した。所望のデバイスでは 400nm 程度の凹凸深さが必要であるため、さらに耐性の高いレジスト材料もしくは高速なエッチング法が必要になる。解決策として、エッチングレジスト材料として耐性の高い金属膜 (Al, Cr 等) を用いるか、Deep RIE 装置の利用、ウェットエッチング等が考えられる。

※その他・特記事項 (Others) :

今後の課題としてエッチング法への検討が挙げられ、時間・コスト・品質を考慮して、引き続き当センターを利用して効率良いデバイス製作の研究を進めていく予定である。

【用語解説】

- テラヘルツ波：マイクロ波領域と光波領域の中間の周波数帯に位置する未開拓の電磁波。次世代情報通信やバイオメディカル等への新応用が期待されている。
- 表面プラズモン：金属表面に現れる電磁波モード。金属中の電子の集団運動に起因する。
- 表面フォノン：誘電体や半導体において、誘電率が負となる禁制帯領域に現れる電磁波モード。格子振動の光学モードに起因する。
- A_1 対称フォノンモード： LiNbO_3 の結晶構造は点群 C_{3v} に属しており、これに起因して現れる赤外活性かつラマン活性な光学フォノンモードの1つ。
- RIE：反応性イオンエッチング（reactive ion etching）の略称。
- CAD：コンピュータ支援設計（computer aided design）の略称。

共同研究者等 (Coauthor) :

南出泰亜 研究員（理化学研究所）

論文・学会発表

(Publication/Presentation) :

1. 三瓶有輝, 四方潤一, 大寺康夫, 柴田宣, “表面波共鳴型テラヘルツ波共振器デバイスの多波長動作解析,” 第67回応用物理学会東北支部学術講演会 (2012).
2. 三瓶有輝, 四方潤一, 柴田宣, “表面波共鳴テラヘルツビーム制御デバイスの多波長動作解析,” 日本大学工学部学術研究報告, Vol. 55, pp. 22-23 (2012).
3. 四方潤一, 三瓶有輝, 柴田宣, 南出泰亜, 大寺康夫, 野村祐蔵, 八坂洋, “表面波共鳴型テラヘルツ共振器デバイスの動作特性,” 2012年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会 (2012).