

高速プラズモニック位相変調器のための 材料開発に関する研究

[1] 組織

代表者：山田 智明
(名古屋大学大学院工学研究科)
対応者：脇谷 尚樹
(静岡大学電子工学研究所)
分担者：
Juerg Leuthold (スイス連邦工科大学
チューリッヒ校)
Ma Ping (スイス連邦工科大学
チューリッヒ校)
Juerg Leuthold (スイス連邦工科大学
チューリッヒ校)
篠崎 和夫 (東京工業大学理工学研究科)
鈴木久男 (静岡大学電子工学研究所)
坂元尚紀 (静岡大学電子工学研究所)

[2] 研究経過

電気光学効果を利用した、高速で駆動させることができる超小型の位相変調器が注目を集めている。この変調器の原理はプラズマ分散効果またはポッケルス効果のいずれかを使ったものであり、現在はシリコン基板上に非線形光学効果を有する高分子の薄膜を用いることで実現されている。しかし、高分子膜は強いレーザー光線の照射による損傷を受けやすく、長時間の使用に対して大いに不安がある。この問題点を打開するためには非線形光学効果を有する高分子薄膜を強誘電体セラミックス薄膜に置き換える必要がある。しかし、このような取り組みはほとんど行われていない。そこで、本研究会では強誘電体薄膜を用い、発生したプラズモンを電界で制御することによって位相制御を可能とする高速駆動型の変調器を実現するための材料の研究を行う。また、この材料を用いたデバイスの最適化についても検討を行うことを目的としている。本プロジェクトは本年度が初年度であった。これまでは研究代表者の山田、研究分担者の篠崎および対応教員の脇谷らが主に気相法 (PLD) にてシリコン(001)基板上にエピタキシャル成長させたセラミックス薄膜の作製を行ってきた。この技術により、半導体であるシリコン

ラットフォーム上に強誘電性、圧電性や磁性を有するセラミックス薄膜を単結晶薄膜 (エピタキシャル成長薄膜) として構築することができる。しかし、以下の2つの点については明らかにされてこなかった。その3つの点は、①コストがあまりかからず、大面積に成膜可能な液相法 (CSD 法でも) 同様のエピタキシャル成長薄膜が作製できるか、②セラミックス薄膜として透光性のある非線形光学材料を用いることにより、薄膜内に光を閉じ込めることができるか、および、③そのような構造においてプラズモニック位相変調器のプロトタイプが作製できるか、である。本研究プロジェクトではこれらの点について研究を展開した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

【研究打ち合わせ】

・開催日時 平成26年11月13日 (金)
15:00-19:00
開催場所 静岡大学浜松キャンパス
工学部3号館3階315室
(参加者数：5名)

・開催日時 平成26年11月14日 (土)
9:00-12:00
開催場所 静岡大学浜松キャンパス
工学部3号館1階109室
(参加者数：6名)

【研究会】

・開催日時 平成26年11月14日 (土)
13:30-17:00
開催場所 静岡大学浜松キャンパス
工学部3号館1階109室
(プロセス研究会として開催)
参加者数：17名 (大学：17名、うち外国人2名)
講演件数：4件

研究会終了後、浜名湖湖畔のホテルにて意見交換会を実施した。この意見交換会ではプラズモニックデバイスの今後の発展の方向性やトレンドについての活発な議論も行われた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

① (コストがあまりかからず、大面積に成膜可能な液相法 (CSD法でも) 同様のエピタキシャル成長薄膜が作製できるか) については、エピタキシャル成長させたバッファ層をPLD法で作製した場合には((La,Sr)MnO₃/CeO₂/YSZ/Si)、この上にはCSD法で作製した強誘電体薄膜((Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3}O₃-PbTiO₃))がエピタキシャル成長することが明らかになった。また、CSD法で作製したこの薄膜はバッファ層を形成した酸化物単結晶基板上((LaNiO₃/MgO(001))でもエピタキシャル成長することを見いだした。② (セラミックス薄膜として透光性のある非線形光学材料を用いることにより、薄膜内に光を閉じ込めることができるか) については、スイス連邦工科大学チューリッヒ校のグループが実施したシミュレーションにより、基板の構造 (SOI基板上にマイクロストリップラインを形成した基板など) や、バッファ層ならびに強誘電体層の膜厚を制御することにより、光の閉じ込めは可能であることが示された、さらに、本共同研究の最終目的は電界の印加による光学特性の制御にあるが、電界を印加する方向として、基板の面内方向の場合と、基板に垂直方向の2つの方向で理論的には可能であることが示された。③ (そのような構造においてプラズモニック位相変調器のプロトタイプが作製できるか) については今年度は至らなかった。

(3-2) 波及効果と発展性など

今回の共同研究は、日本のJSTとEUとの共同研究である Concert-Japan の一環としても開始されたが、この共同研究経費は相互で人的な交流を行ってディスカッションを進めるのに必ずしも十分ではない。このため、電子工学研究所の共同研究を通して進められた人的交流は大いに有意義なものであった。今後は着実に共同研究の成果を挙げて、JST等の大型予算の獲得につながることを期待している。

また、今回の電子工学研究所の共同研究は日本とスイスの2カ国間での交流にとどまったが、今後はイタリアの研究グループとの人的な交流を進めていきたい。これは、この共同研究プロジェクトは、日本側のミッションはエピタキシャル成長をした高性能非線形光学材料薄膜の作製にあり、イタリア側のミッションはその薄膜をデバイス構造に加工することであり、スイス側のミッションは実際に電界の印加によって光学特性の変調がするかどうか明らかにすることにあるためである。すなわち、材料科学の

観点から材料開発が得意な研究者と、Reactive Ion Etching (RIE)等のトップダウン法によるデバイス加工が得意な研究者と、理論計算ならびに物性特性の得意な物理学者がそれぞれの強みを活かして新しいデバイスの創成を提案しようというものである。このようなプラズモニックデバイスが実現すると、超小型で高性能かつ耐久性の極めて高い光変調器が作製できると期待されるため、今後の光通信機器の小型化、高信頼化をもたらすと期待される。

[4] 成果資料

(1) “Stress engineering for the design of morphotropic phase boundary in piezoelectric material”, Tomoya Ohno, Hiroshi Yanagida, Kentaroh Maekawa, Takeshi Arai, Naonori Sakamoto, Naoki Wakiya, Hisao Suzuki, Shigeo Satoh, Takeshi Matsuda, Thin Solid Films (2014) (in press).

(2) “Effects of synthesis conditions on electrical properties of chemical solution deposition-derived Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃ thin films”, Takeshi Arai, Tomoya Ohno, Takeshi Matsuda, Naonori Sakamoto, Naoki Wakiya, Hisao Suzuki, Thin Solid Films (2014) (in press).

出張報告（特別教育研究経費を使用した場合）

氏名：山田智明

所属：名古屋大学大学院工学研究科

期間：平成26年11月14日～16日

用務先：静岡大学

用務内容：研究打ち合わせおよび研究会に出席し、発表・議論を行った

主たる対応者：脇谷 尚樹

氏名：Juerg Leuthold

所属：スイス連邦工科大学チューリッヒ校

期間：平成26年11月14日～16日

用務先：静岡大学

用務内容：研究打ち合わせおよび研究会に出席し、発表・議論を行った

主たる対応者：脇谷 尚樹

氏名：Ma Ping

所属：スイス連邦工科大学チューリッヒ校

期間：平成26年11月12日～17日

用務先：静岡大学

用務内容：研究打ち合わせおよび研究会に出席し、発表・議論を行った

主たる対応者：脇谷 尚樹