

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
(名古屋大学大学院理工学研究科)

対応者：脇谷 尚樹
(静岡大学電子工学研究所)

分担者：
Juerg Leuthold (ETH, Zurich)
Ma Ping (ETH, Zurich)
篠崎和夫
(東京工業大学大学院理工学研究科)
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めざした。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も目的としていた。

日本側(名古屋大、東京工業大および静岡大)は強誘電体薄膜を作製するための成膜装置と実績を有している。これらの3機関はともにPLD法による材料探索を行っているが、このうち、名古屋大学のPLD装置は高圧下での成膜が可能、東工大のPLD装置は水蒸気雰囲気下での成膜が可能、静岡大

のPLD装置は磁場中での成膜が可能というそれぞれ特徴を有している。さらに、静岡大ではCSD法による強誘電体薄膜の作製技術も有している。これらの特徴ある成膜方法を用いて種々の強誘電体薄膜を酸化物等の単結晶基板上やシリコン基板上に成膜する。昨年度にはCSD法によるシリコン基板上へのエピタキシャル成長薄膜の作製に成功した。今年度はさらにこのようなエピタキシャル成長した強誘電体薄膜の微細加工と、微細加工した薄膜における光の閉じ込め効果を国際共同研究にて試みた。

以下、研究活動の概要を記す。

【講演会・研究打ち合わせ】

・開催日時
平成27年4月20日(月) 9:00-16:00
平成27年4月21日(火) 9:00-16:00
開催場所 ミラノ工科大学
共同研究打ち合わせ

・開催日時
平成27年3月5日(土) 10:00-17:00
平成27年3月6日(日) 10:00-15:00
開催場所 東京工業大学
共同研究打ち合わせ

【研究会】

・開催日時
平成27年10月17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：16名(大学：13名、民間会社2名)
(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酸化物透明電極の今後の発展の方向性や携帯端末等への応用など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。

本研究では酸化物の単結晶基板 (MgO や YSZ) 上に直接、またはCSD法を用いて LaNiO_3 の下部電極を作製し、その上にCSD法で強誘電体

($\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ (PMN-PT)) 薄膜を作製した構造と、Si基板上にPLD法で $(\text{La,Sr})\text{MnO}_3$ 下部電極と CeO_2/YSZ 2重バッファ層を導入することによりヘテロエピタキシャル成長させた強誘電体薄膜を作製した。これらの薄膜の電気特性(強誘電特性)を本学で測定後、試料を名古屋大学に送ってプリズムカプラー法で屈折率を測定した。更に、これらの試料をETHに送って微細加工のための条件出しを行ってもらった。また、ミラノ工科大学ではパターンニングをした強誘電体薄膜における光閉じ込め効果の実証実験が始まった。

既往の研究ではSi(001)単結晶基板上に最初にエピタキシャル成長させるためのバッファ層としてYSZを用いてきたが、YSZはSiと格子定数のミスマッチが大きいと、YSZ/Si界面には転位が入りやすいという問題点があった。一方 CeO_2 はSiとの格子定数のミスマッチはほとんどゼロであるが、Si(001)上には直接エピタキシャル成長しない。これらのため、既往の研究では CeO_2/YSZ の2重バッファ層が用いられてきた。しかし、この方法では手順が多くなるため工業的には向かないこと、YSZと CeO_2 界面で再び大きな格子定数のミスマッチに起因する転位の発生によって結晶性が低下する。これらの問題点を克服するため、対応教員、研究代表者および研究分担者らは、Siとの格子定数のミスマッチがほとんど無く、かつYSZと同じ結晶構造を有する蛍石構造の化合物を用いることを検討した。このような化合物の候補として、ランタン安定化ジルコニア、ネオジウム安定化ジルコニアおよびサマリウム安定化ジルコニアについて検討を行った。その結果、ランタン安定化ジルコニアはランタンとジルコニウムのイオン半径差が大きすぎたためにランタンはジルコニアに固溶しなかった。一方、サマリウム安定化ジルコニアではサマリウムイオンのイオン半径が小さいために格子定数の増加効果が小さかった。これに対し

て、ネオジウム安定化ジルコニアでは当初の期待通り、Siとの格子定数のミスマッチがほとんどゼロに近い状態でエピタキシャル成長し、さらにこの上にペロブスカイト構造のLSCOがエピタキシャル成長することが明らかになった。ただし、このときのエピタキシャル成長薄膜は、これまでに報告例のない、3つのドメインからなるタイプのものになることが明らかになった。

(3-2) 波及効果と発展性など

今回の共同研究は、日本、スイス、イタリアの3カ国間の共同研究の一環として行われた。この共同研究は元々、JSTの予算で始まったが、エピタキシャル成長させた強誘電体薄膜に光を閉じ込めることに成功しつつあり、研究がうまく進行すると次の予算につながる可能性がある。少なくとも国際共著の論文にはつながると考えられる。

本研究で提案している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) "Impact of acidic catalyst to coat superparamagnetic magnesium ferrite nanoparticles with silica shell via sol-gel approach", H. Das, T. Arai, N. Debnath, N. Sakamoto, K. Shinozaki, H. Suzuki, N. Wakiya, *Advanced Powder Technology*, 27 (2016) 541.
- (2) "Synthesis and electrical properties of $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ epitaxial thin films on Si wafers using chemical solution deposition", T. Arai, T. Ohno, T. Matsuda, N. Sakamoto, N. Wakiya, H. Suzuki, *Thin Solid Films*, 603 (2016) 97-102.
- (3) "Investigations of superparamagnetism in magnesium ferrite nanosphere synthesized by ultrasonic spray pyrolysis technique for hyperthermia application", H. Das, N. Sakamoto, H. Aono, K. Shinozaki, H. Suzuki, N. Wakiya, *J. Magn. Magn. Mater.*, 392 (2015) 91-100.

出張報告

氏名：
所属：
期間：
用務先：
用務内容：
主たる対応者：