

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 12 日現在

機関番号：12201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23656231

研究課題名(和文) 金属薄膜サブ波長格子構造偏光子の研究

研究課題名(英文) Research on metal-film subwavelength grating polarizer

研究代表者

白石 和男 (Shiraishi, Kazuo)

宇都宮大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90134056

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：従来の偏光子より格段に優れた偏光子を実現した。(1)テラヘルツ帯用偏光子：熱インプリント法を用いることにより量産性に優れ、かつ高性能な偏光子の作製方法を確立した。2THzにおいて挿入損失 0.2dB以下、消光比50dBの高特性を得た。当初目標の数値を達成した。(2)中赤外域用偏光子：厚さ0.3mmのシリコン基板の両面に三重の金属薄膜多重格子構造サブ波長偏光子を作製した。波長18 μ mにおいて挿入損失1.0dB、消光比32dBの高特性を得ることができた。当初目標に近い値を達成した。偏光子自体を基板の反射防止構造として利用する方法を見出し、当初目標とした数値を達成できる見込みを得た。

研究成果の概要(英文)：New polarizers with high performance have been successively obtained. (1) Terahertz region: A new fabrication method utilizing the thermal imprinting was employed to fabricate the polarizer. The method is simple and applicable for the mass production. The insertion loss of less than 0.2dB with an extinction ratio as high as 50dB have been obtained at the frequency of 2THz, showing that the goal of the project has been reached. (2) Mid-infrared region: Triplicated subwavelength metal films for the polarizer are formed on both sides of a 0.3mm-thick silicon wafer. The insertion loss of 1.0dB with an extinction ratio of 32dB have been obtained at the wavelength of 18 μ m, showing that data close to the goal have been obtained. A new polarizer structure having an anti-reflection effect to the silicon substrate was newly proposed, which is promising to attain the goal.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：偏光子 サブ波長格子 中赤外 テラヘルツ

1. 研究開始当初の背景

偏光は光の最も重要な性質の一つであり、特定の偏光を選択する偏光子は古くから研究されてきた。光通信、医用光学、ディスプレイ、光記録等々、光技術の応用範囲が拡大された現在では、偏光子の性能(消光比、挿入損失)・形状(特にサイズ)・適用波長範囲は、高度性能化・薄型化・広帯域化が要請されている。

光通信用近赤外波長(1.55 μm)帯を除き、50dB以上の消光比、0.5dB以下の挿入損失を満たす性能を有し、かつ薄型・堅牢な偏光子は無い。特に、センシングや材料研究で重要な中赤外やTHz帯では、金属細線を並べた古典的なワイヤーグリッド型しか知られていない。この型は消光比が20dB程度と低く、偏光子利用機器の感度・分解能の制限要因になっている。

上記の問題を解決できる可能性があるのが、金属薄膜サブ波長格子構造の偏光子である。既に、THz帯での予備実験において消光比(TM偏波損失)50dB以上、挿入損失(TM偏波損失)0.5dB以下を実証し、可能性の一端を証明した。

2. 研究の目的

本研究は、新しい動作原理にもとづく偏光子に関する。波長の10分の1程度の周期をもつ金属薄膜の格子から成り、高消光比・低挿入損の性能をもち、可視域からテラヘルツ(THz)帯に及ぶ広い波長帯に対応できる。研究期間内に、以下の2点を明らかにすることが目的である。

- (1) 近赤外域からTHz帯において、消光比50dB以上、挿入損失0.5dB以下の特性を実証する。可視域において、消光比40dB以上、挿入損失0.3dB以下を達成する。
- (2) 薄型で広開口、堅牢、かつ量産性に優れた作製方法を提案し、その有効性を実証する。

3. 研究の方法

テラヘルツ帯用と中赤外用についてそれぞれ以下の2つの方法で研究を進めた。

- (1) テラヘルツ帯用偏光子： 金属に金を用い、基板にTsurupica®樹脂を用いることで高性能偏光子が作製できることがこれまでの研究で判明している。従来はダイシングソーを用いて基板に溝を形成することにより格子を作製していた。本研究では格子の形成方法として、熱インプリント法により金型から格子を基板に転写する技術を開発し、量産性に優れ、かつ高性能な偏光子の作製方法を確立する。
- (2) 中赤外域用偏光子： 一般に中赤外域ではテラヘルツ帯と比較して金属の複素屈折率の絶対値が1桁程度小さくなり、偏光子の光学特性が低下(TM偏波の挿入損失が増加し、TE偏波の透過損失が低下)する。これを克服する方法として、サブ波長格子を構成する金属薄膜を単層ではなく、誘電体を中間層とした多重格子構造とする。金属にはアルミニウム、中間層にはアモルファスシリコンを用いる。基板にはシリコンウエハを用い、異方性エッチング技術を利用して基板上に三角断面形状の格子を形成する。

4. 研究成果

- (1) テラヘルツ帯用： 格子周期を25 μm に、金属(金)の膜厚を25nmにすることにより、2THzにおいてTM偏光の透過損失(挿入損失)が0.2dB以下、TE偏光の透過損失(消光比)が50dBの高性能偏光子を得た。当初目標とした数値を完全に達成した。図1に測定結果と理論値を示す。従来のワイヤーグリッド型偏光子では、これらの数値はそれぞれ3.5dB、25dBである。即ち、挿入損失は3.3dB低減化(透過率換算で45%から95%以上に向上)され、消光比は25dB(不要偏波遮断効率が316倍)向上した。金型の格子を転写するだけで良好な格子が作製できたので、量産性に優れ

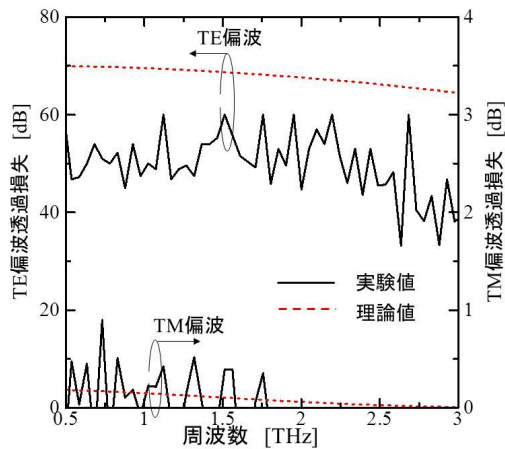


図1．作製したテラヘルツ帯用偏光子の特性

ていることも確認できた。さらに、テラヘルツ帯では金属として金を用いるよりもアルミニウムを用いた方がより高特性が期待できることを理論的に見出した。将来、金属種を変更することでさらなる高性能化が期待できる見込も得た。

(2) 中赤外域用： TM 偏波の挿入損失を低減させるため、2つの観点から進めた。一つは、基板自体の吸収損失(約 2dB)の低減化であり、他の一つは基板裏面での反射損失(1.55dB)の低減化である。前者については、従来使用していたシリコン基板の厚さ 0.5mm を、0.3mm と薄くすることで対応した。後者については、基板の裏面にも偏光子を形成することで対応した。その結果、作製した三重の金属薄膜多重格子構造サブ波長偏光子は、波長 15 μm において TM 偏波損失(挿入損失) 2.0dB、TE 偏波損失(消光比) 35dB、波長 18 μm において TM 偏波損失 1.0dB、TE 偏波損失 32dB の高特性を得ることができた。当初目標の数値には僅かに及ばなかったが、近い数値を達成できた。図2に測定結果と理論値を示す。これらの特性は従来の偏光子と比較して格段に優れたものであり、大きな成果である。基板は市販のシリコンウエハであり、作製プロセスは既存の半導体プロセスを利用しているため、量産化に適した技術であることも

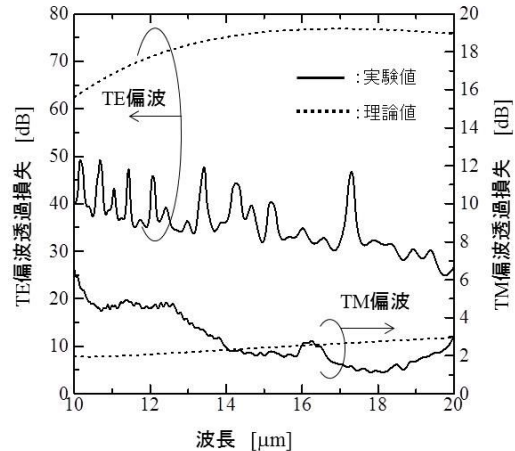


図2．作製した三重格子中赤外用偏光子の特性

証明できた。さらに、金属薄膜間の中間層にアモルファスシリコン酸化膜を用いれば偏光子自体が反射防止構造として機能することを見出し、挿入損失は 0.5dB 以下にできること、また金属として Al に替えて Au を用いると偏光子特性がさらに改善することを見出し、将来さらなる発展が期待できる見込みを得た。

(3) 近赤外および可視域用： 当初の目標に含めていた、近赤外域及び可視域へ適用する試みは本研究期間内で実施ことはできなかった。これら短波長域では金属の光学特性の低下が顕著であり、本偏光子構造をそのまま適用できなかった。また、新たな背景として、CODIXX 社(独)が従来のガラス偏光子の動作波長域を近赤外 ~ 5 μm まで拡大させ、ColorPol[®]の製品名で市販を開始した。このため、波長 5 μm を境に短波長側はガラス偏光子、長波長側は本偏光子の適用領域として「棲み分け」をすることになる見込みである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

K. Shiraishi and H. Yoda, Infrared polarizer employing multiple metal-film subwavelength gratings, Optics Express, 査読有, vol. 21, pp. 13998-14007, 2013
DOI: 10.1364/OE.21.013998

小藤美紗子、稲川雄太、依田秀彦、白石

和男、インプリント法によるテラヘルツ帯用金属薄膜サブ波長格子構造偏光子の作製、電子情報通信学会論文誌(C)、査読有、vol. J95-C, pp.58-59, 2012. http://search.ieice.org/bin/pdf.php?lang=J&year=2012&fname=j95-c_3_58&abst=

[学会発表](計10件)

白石和男、金属薄膜サブ波長格子構造による中赤外～テラヘルツ帯用偏光子の高性能化、電子情報通信学会総合大会、2014年3月18日～2014年3月21日、新潟大学。(依頼講演)

鈴木貴博、六本木誠、依田秀彦、白石和男、金属薄膜サブ波長多層格子構造偏光子の反射損失低減化、電気学会栃木群馬支所合同研究発表会、2014年3月3日～2014年3月4日、群馬大学。

鈴木貴博、諏訪翔也、六本木誠、依田秀彦、白石和男、中赤外用多層金属薄膜サブ波長格子構造偏光子の挿入損失低減化、電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会、2013年09月17日～2013年09月20日、福岡工業大学。

K. Shiraiishi, M. Kofuji, Y. Inagawa, H. Yoda, and C. S. Tsai, "Fabrication of Thin Metallic-film Subwavelength-Grating Polarizers for Terahertz Region by the Imprinting Method," Conference on Lasers and Electro-Optics Quantum Electronics and Laser Science Conference (CLEO/QELS 2012), 査読有, San Jose, CA, May 2012, paper JW2A45.

鈴木貴博、六本木誠、依田秀彦、白石和男、高い消光比を有する赤外用金属薄膜サブ波長多重格子構造偏光子、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年09月11日～2012年09月14日、富山大学。

小藤美紗子、依田秀彦、白石和男、インプリント法による低損失サブ波長格子構造偏光子の作製、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年09月11日～2012年09月14日、富山大学。
酒巻和弘、碓智文、依田秀彦、白石和男、金属薄膜サブ波長格子を用いたTHz帯ハーフミラー、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年09月11日～2012年09月14日、富山大学。

稲川雄太、依田秀彦、白石和男、中赤外用金属薄膜サブ波長多重格子構造偏光子の実験的検証、応用物理学関係連合講演会、2012年3月15日～2012年3月18日、早稲田大学。

稲川雄太、依田秀彦、白石和男、金属薄膜サブ波長多重格子構造偏光子の実験的検討、電子情報通信学会ソサイエティ大会、2011年9月13日～2011年09月16

日、北海道大学。

小藤美紗子、稲川雄太、大野泰司、依田秀彦、白石和男、改良インプリント法による金属薄膜サブ波長格子構造偏光子の作製、電子情報通信学会ソサイエティ大会、2011年9月13日～2011年09月16日、北海道大学。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

白石 和男 (SHIRAIISHI, KAZUO)
宇都宮大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：90134056