

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560404

研究課題名(和文) 回折格子を用いたプラズモンバイオセンサの位相検出による分解能向上

研究課題名(英文) A grating-based plasmon biosensor utilizing phase detection to realize high resolution

研究代表者

奥野 洋一 (Okuno, Yoichi)

熊本大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：50117082

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)： 金属回折格子に励振されるプラズモン表面波を利用して、7桁を超える分解能を持つ屈折率センサを開発する研究を行った。研究内容を理論解析と実験検証に分け、それぞれの成果を列記する。

理論解析の知見： 格子はコニカルマウントで使用し、表面波の励振に伴うモード変換を利用すれば、反射光の効率測定のみによって6桁の分解能が得られる； 反射光の位相検出を併用すれば、広い屈折率範囲で8桁を超える分解能を達成できる。

実験検証の成果： 上記を実験によって確認した； 位相検出に光弾性変調器を用いたホモダイン検波を利用すれば、 $0.1^\circ$ の分解能で参照波と位相比較できるので、 $0.1^\circ$ の分解能を達成できる見通しがあった。

研究成果の概要(英文)： Making use of plasmon surface wave excitation on a metal grating, we performed a study to develop a refractive index sensor with more than 7-digit resolution. We itemize main results of our study in theoretical analysis and in experimental inspection separately.

Results in theoretical analysis: (1) If we employ conical mounting to use a mode conversion accompanying the plasmon excitation, we get a little less than 6-digit resolution by efficiency-alone measurement of the reflected light; (2) We can achieve more than 8-digit resolution if we employ phase detection of the reflected light at the same time.

Result of experimental inspection: (3) We confirmed (1) mentioned above by an experiment; (4) If we employ a PEM (photoelastic modulator) and use homodyne detection, the phase detection can achieve the resolving power of (2) because the instrumental resolution in phase detection can be 0.1 degrees.

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：回折格子 プラズモン バイオセンサ 位相検出

## 1. 研究開始当初の背景

プラズモン表面波は、光領域で金属と誘電体の境界に励振される自由電子の集団縦振動である。プラズモンが励振されると、波長分散素子の特性が悪化するので、かつてはこれを励振させないための工夫がなされた。近年では、電磁界の解析法と微細加工技術の進歩にともなって、プラズモン表面波を制御することが可能となり、多くの分野でその工学的利用が検討されている。本研究は、そのひとつである。以下に、その課題の背景を簡単に説明する。

金属表面にプラズモン表面波が励振されると、入射電力の一部が金属に吸収され、反射効率が低下する(プラズモン共鳴吸収)。この現象が起こる波長・入射角などの条件は周囲の媒質の屈折率に敏感であるため、例えば、共鳴吸収の起こる入射角を測定して、媒質の屈折率を決定できる。

この方式による屈折率センサとして、プリズムを用いたものがすでに実用されている。これは、底面に金属薄膜をコーティングしたプリズムの底面で光を全反射させ、全反射に伴って生じるエバネッセント波と薄膜中のプラズモンの共鳴を利用するものであり、条件がよければ5桁程度の分解能を期待できる。また我々は、コニカルマウントされた回折格子のエバネッセント光と格子表面のプラズモンの共鳴を利用して5-6桁の分解能を得ていた[科学研究費の番号]。しかし、この分解能は、たとえばガンの早期発見や微量元素の検出など医学・生理学・環境科学等が要求する7桁以上には不足であった。

## 2. 研究の目的

上記の問題に対応し、バイオセンサとして利用できる屈折率センサとするため、回折波の位相検出を行って8桁程度の分解能を得ることが本研究計画の目的である。

## 3. 研究の方法

本研究計画では、研究内容を理論解析と実験検証の二つに分け、との一部は熊本大で研究代表者らが担当し、の大部分は研究協力者(何費霊教授、中国浙江大など)が主宰する光及電磁波研究中心(浙江大、華南師範大)の研究員に担当を依頼する予定であった。具体的な依頼項目は、位相検出法の決定、バイオセンサのプロトタイプ構築、および評価であった。研究代表者は、研究協力者、研究員、および中国の学生と密接な連携を保ち、計算や実験上のノウハウを交換するために、年間数回にわたって浙江大または華南師範大を訪れることとした。

## 4. 研究成果

金属回折格子に励振されるプラズモン表面波を利用して、7桁を超える分解能を持つ屈折率センサを開発する研究を行った。研究内容を理論解析と実験検証に分け、それぞれの成果を列記する。

理論解析の知見： 格子はコニカルマウントで使用し、表面波の励振に伴うモード変換を利用すれば、反射光の効率測定のみによって6桁弱の分解能が得られる； 反射光の位相検出を併用すれば、広い屈折率範囲で8桁を超える分解能を達成できる。

実験検証の成果： 上記 を実験によって確認した； 位相検出にPEM(光弾性変調器)を用いたホモダイン検波を利用すれば、 $0.1^\circ$ の分解能で参照波と位相比較できるので、の分解能を達成できる見通しがついた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計6件)

富田 正治, 奥野 洋一, 表面に周期構造が形成された GaAs 基板における太陽光の電力透過係数の解析, 電子情報通信学会論文, Vol. J97-C No.5, pp.239-242, 2014 年, 査読有

T. Suyama, X. Ji, and Y. Zhang, "Enhancement of Fluorescent Labeling via a Composited Thin Film," *International Journal of Polymer Science*, No. 921489, 2014 年, 査読有

Taikei Suyama and Yaoju Zhang, 3D super-resolution fluorescence microscopy using cylindrical vector beams, Progress In Electromagnetics Research Letters, Vol. 43, pp. 73-81, 2013 年, 査読有

Y. Zhang, S. Li, Y. Zhu, Y. Zhuang, T. Suyama, C. Zheng, and Y. Okuno, Periodic transmission of circular binary fresnel zone plates with etching depth and substrate, Progress In Electromagnetics Research Letters, Vol. 40, pp. 93-105, 2013 年, 査読有

Taikei Suyama, Akira Matsushima, Yoichi Okuno, and Toyonori Matsuda, Resonant Excitation of Plasmons in Bi-gratings, Plasmonics - Principles and Applications, INTECH, Chap. 12, pp. 313-334, 2012 年, 査読有

Ziqian Luo, Taikei Suyama, Xun Xu, and Yoichi Okuno, A grating-based plasmon biosensor with high resolution, Progress In Electromagnetics Research, vol. 118, pp. 527-539, 2011 年, 査読有

〔学会発表〕(計15件)

Taikei Suyama, Xiaowei Ji, and Yaoju Zhang, A Metal-dielectric Composited Film Applied to Enhance the Fluorescence Imaging, Proceedings of Progress in Electromagnetics Research Symposium in Stockholm, Sweden, pp. 1409-1414, 2013 年 8 月 12 日-15 日, 査読有

Ziqian Luo, Taikei Suyama, Xun Xu, and Yoichi Okuno, A Grating-based Plasmon Biosensor via Phase Detection with Wide Measurement Range, Proceedings of Progress in Electromagnetics Research Symposium in Stockholm, Sweden, pp. 974-978, 2013 年 8 月 12 日-15 日, 査読有

Yoichi Okuno, Shi Bai, Taikei Suyama, Qi Zhao, and Xun Xu, 「Resonance Absorption in Multilayered Bi-gratings」, Proceedings of Progress in Electromagnetics Research Symposium, pp.1011-1015, Taipei, Taiwan, 平成25年3月25日-28 日, 査読有

白石, 周山大慶, 奥野洋一, 松島章, 「多層2次元回折格子における結合SPRモード」, 2013年電子情報通信学会大会講演論文集, No. C-1-6, 岐阜大学, 平成25年3月19日 - 22日.

趙サイ, 周山大慶, 松島章, 奥野洋一, 「金属格子を用いた表面プラズモンバイオセンサの位相検出による分解能向上」, 映情学技報, Vol. 37, No. 4, BCT2013-4, pp.13-16, 熊本大学, 平成 25 年 1 月 30 日-31 日.

Yoichi Okuno, Xun Xu, and Taikei Suyama, 「Attempts to improve the resolution of a grating-based plasmon index sensor」, Asia Communications and Photonics Conference 2012, Guangzhou, China, pp.1-3, 平成24年11月7日-10日, 査読有

Yoichi Okuno, Taikei Suyama, and Xun Xu, 「A Grating-Based Plasmon Index Sensor with High Resolution」, Proceedings of 9th Asia-Pacific Engineering Research Forum on Microwaves and Electromagnetic Theory, Fukuoka, pp.92-99, 平成24年10月26日-27日, 査読有

谷川将志, 周山大慶, 奥野洋一, 「プラズモン効果を利用した太陽電池の効率改善」, 第20回電子情報通信学会九州支部学生会講演会講演論文集, No. C-9, 長崎大学, 平成24年9月26日.

白石, 周山大慶, 奥野洋一, 「Resonance absorption in multilayered bi-gratings」, 第20回電子情報通信学会九州支部学生会講演会講演論文集, No.C-27, 長崎大学, 平成24年9月26日.

中村明日希, 周山大慶, 奥野洋一, 「金属格子を用いたプラズモンセンサの分解能向上 - 位相検出の利用」, 第20回電子情報通信学会九州支部学生会講演会講演論文集, No.C-6, 長崎大学, 平成24年9月26日.

Taikei Suyama, Yaoju Zhang, and Yoichi Okuno, 「An artificial

negative index film applied to near-filed optical storage with a solid immersion lens」, Proceedings of Quantum-Nano-Optics workshop, Barcelona, Spain, 平成24年9月10日-11日, 査読有

高田雄一郎, 周山大慶, 奥野洋一, 「サブミクロン金属粒子による光の強調散乱とその利用」, 2011年度電子情報通信学会九州支部学生会講演会講演論文集, No.C-39, 岡山, 平成23年9月28日.

Ziqian Luo, Taikei Suyama, and Yoichi Okuno, Plasmon Excitation on a Metal Grating and its Phase Detection Based Biosensor Application, Proceedings of Asia Communications and Photonics Conference (ACP), Guangzhou, China, AF4B.4, 2012年11月7日-10日, 査読有

Taikei Suyama and Yoichi Okuno, Improvement of near-field optical storage system with an artificial negative index film, Proceedings of International Symposium on Antennas and Propagation, pp. 1530 -1533, Nagoya, Japan, 2012年10月29日, 査読有

Ziqian Luo, Taikei Suyama, and Yoichi Okuno, Plasmon Bio-sensor Based on Metal Grating with High Resolution and Wide Measurement Range, Proceedings of Progress In Electromagnetics Research Symposium, Suzhou, China, p. 266, 2011年9月12日-16日, 査読有

〔産業財産権〕  
出願状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況（計 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

奥野 洋一 (Okuno, Yoichi)  
熊本大学・大学院自然科学研究科・教授  
研究者番号：50117082

##### (2) 研究分担者

周山 大慶 (Suyama, Taikei)  
明石工業高等専門学校・電気情報工学科・  
准教授  
研究者番号：70336204

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：