

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：13101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656254

研究課題名(和文) 表面プラズモン光を用いる干渉断層像センシング

研究課題名(英文) Interferometric sensing with tomographic image produced by surface plasmon

研究代表者

佐々木 修己 (SASAKI, OSAMI)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：90018911

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：金属ナノ構造体へ伝搬光を入射させると、光の回折限界を超えた分解能を持つ近接場光のひとつである表面プラズモンを励起させることができる。金属表面に測定したい物質サンプルを置けば、表面プラズモン光が物質表面を伝搬し、このときに生じる位相変化を光干渉法で検出することによって、サンプル表面の屈折率分布あるいは形状をナノオーダーで測定することができる。この表面プラズモン干渉計を構築するために必要となる、金属薄膜へのナノスケール構造の微細加工法、金属ナノピンホールによる表面プラズモン励起特性、表面プラズモンを高分解能に抽出する光ファイバプローブなどについて明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Surface plasmon can be activated when propagating light is incident on a metal nanostructure body. The surface plasmon is one of near-field light with resolution power beyond the diffraction limitation of the propagating light. If a material sample to be measured is put on the metal surface, the surface plasmon light propagates on the material surface. Since this propagation causes a phase shift in the surface plasmon light to be measured with a light interferometric method, refractive index profile or shape profile of the sample surface can be measured with a high accuracy of nano order. In order to reconstruct this surface plasmon interferometer, the following things are made clear: microfabrication method to generate nanoscale structures in a metal film, characteristics of surface plasmon excitation by metal nano pinhole, and fiber optical probe to extract plasmon with a high resolution.

研究分野：光干渉計測

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：プラズモン 近接場 金属膜 光干渉 微細加工 アゾベンゼン

1. 研究開始当初の背景

バイオ、化学、環境等の分野で用いられるプラズモンを活用したセンサデバイスでは、プラズモンを発生させるために金属表面や金属ナノ構造体へ入射した光(入射伝搬光と呼ぶ)から生じる反射光の光強度を検出することにより、金属表面や金属ナノ構造体に付着した物質をセンシングしている。しかし、この方法ではセンシングしたい物質の存在は検出できるが、その物質の形状や大きさを検出することができない。一方、表面プラズモンが光波であることを積極的に活用し、表面プラズモン光が物質表面を伝搬するとき生じる位相変化を光干渉法で検出すれば、測定対象であるサンプル表面の屈折率分布あるいは形状をナノオーダーで測定することができるかと期待される。

2. 研究の目的

汎用性の高いセンシングデバイスの実現するためには、ナノ構造をもつサンプル表面の形状と光物性をリアルタイムに同時計測できるシンプルな手法を開発することが重要である。その中でも光干渉計測は、非接触、高感度、遠隔性などをもつ有用な手法であるが、自由空間の伝搬光を用いるため、サンプル面内方向の空間分解能が光の回折により制限される。本研究では、光の回折限界を超えた分解能を持つ近接場光のひとつである表面プラズモンを用いた新たな光干渉計測法を開発することを目的とする。このため、表面プラズモンを発生させるための金属薄膜へのナノスケール構造の微細加工法、サンプル表面の表面プラズモンを高分解能に抽出する光ファイバースローブおよび光干渉計の構成などについて検討を行う。

3. 研究の方法

表面プラズモンを発生させるためには、金属薄膜表面に微細なピンホールやナノスケールの溝構造を加工することが不可欠である。そこで、まず簡便で高精度な金属ナノ構造の微細加工法を開発する。次に、金薄膜に加工したナノピンホール形状によってエバネッセント波からプラズモンが励起されるかどうかを確認するために、プリズムによるエバネッセント波の励起を用いた光干渉計測によってプリズムからの反射光の位相分布を検出する。最後に、表面プラズモンをエバネッセント波として検出するために、市販のプラスチック光ファイバーの先端を微細加工した光ファイバーを近接場光スローブとして用いる。このときの加工形状などによる光ファイバーのエバネッセント波検出特性を明らかにする。以上の研究内容によって、表面プラズモン干渉計システムを考案することができる。すなわち、図1に示すように、ガラス前面に置かれたナノピンホール構造を有する金薄膜にガラス裏面からレーザー光を入射することで表面プラズモンを励起す

る。この伝搬する表面プラズモン光を先端が先鋭化されたプラスチックファイバースローブで取り込む。ファイバーから出射されるレーザー光をガラス裏面へ入射させたレーザー光と干渉させて表面プラズモン光の位相を検出する。金薄膜表面に測定対象サンプルを置けば、検出された位相分布からサンプルの屈折率分布や表面形状分布をサンプル表面方向に対してナノオーダーで測定することができる。

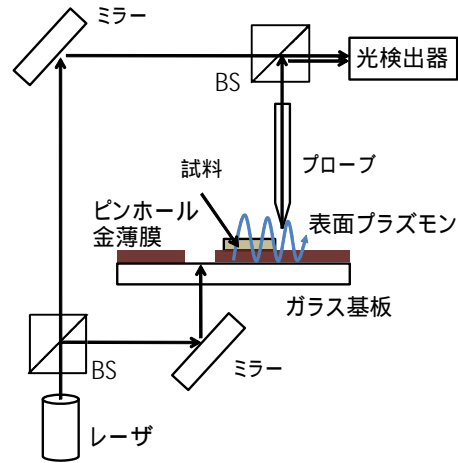


図1 表面プラズモン干渉計システム

4. 研究成果

金属薄膜表面に入射した伝搬光を表面プラズモンに変換するためには、薄膜表面にナノスケールのピンホールや溝構造を形成することが不可欠である。まず、簡便で高精度な金属ナノ構造の微細加工法としてアゾ薄膜を用いる方法を検討した。伝搬光による集光スポット及び二光束干渉強度分布により加工したアゾ薄膜をレジストとして用い、王水により金薄膜をウェットエッチングし、クロロホルムでアゾ膜を除去する方法を用いた。この結果、図2に示すように集光スポットでは金薄膜内部に直径5 μ m、深さ約40nmのピンホールが形成された。二光束干渉縞では、図3に示すように金薄膜表面には高さ5nm、周期1.12 μ mの

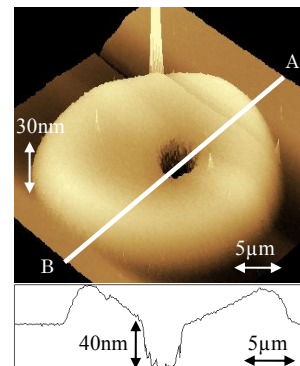


図2 集光スポット光とアゾ膜で加工した金表面の AFM 像

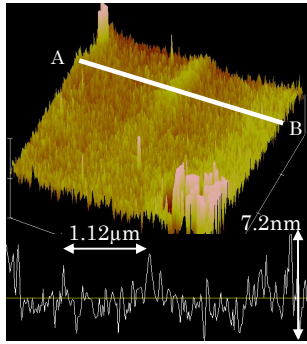


図3 二光束干渉縞とアゾ膜で加工した金表面のAFM像

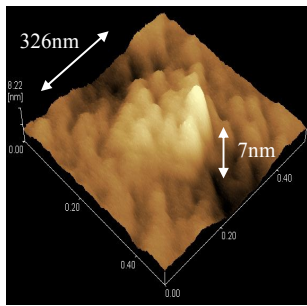


図4 アゾベンゼンの微細構造を用いて加工した金表面のAFM像

格子形状が形成された。さらに、微細なナノ構造を金薄膜表面に形成するために、アゾベンゼンの微細構造を用いた金薄膜のウェットエッチングでは、図4に示すように高さ7nm、直径320nmのナノ構造が形成された。次に、上記のように金薄膜に加工したナノピンホールを、図5に示すようにエバネッセント波で照射し、全反射型の光干渉計によって反射光の位相分布を検出した。ナノピンホールは金薄膜にレーザー光を集光し、アブレーションすることで形成した。図6にCCDカメラで検出した干渉強度分布を示す。図7に示すように、直径400nm程度のナノピンホールが存在する加工領域(図6のA部分)では反射

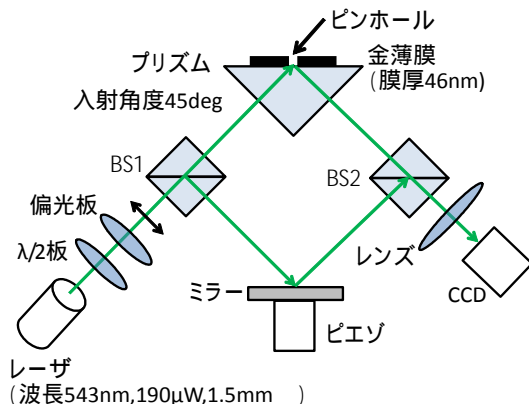


図5 エバネッセント波干渉計

光の位相は地方的に大きく変化し、ピンホールが存在しない平坦な未加工領域(図6のFlat部分)では位相はほぼ一定であった。以上のことから、金薄膜のナノピンホール形状にプリズムで入射したエバネッセント波から表面プラズモンが励起されたと考えられる。

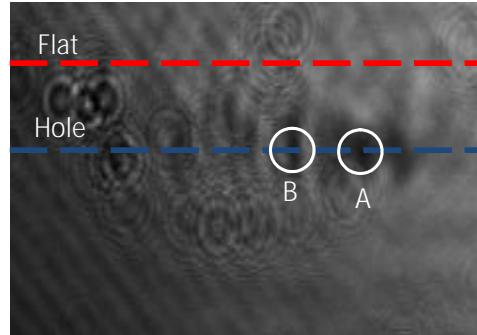


図6 CCDカメラで検出した干渉強度分布

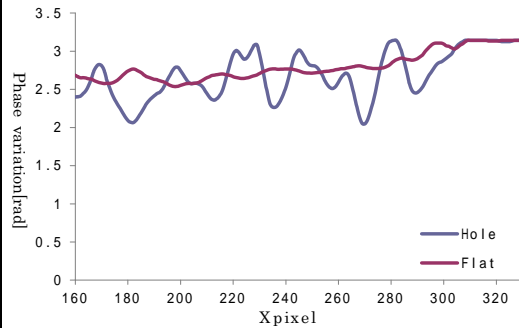


図7 図6のHoleとFlatの線上の位相分布測定結果

最後に、以上の実験結果を踏まえて考案される図1の表面プラズモン干渉計システム中の近接場光プローブについては、市販のプラスチック光ファイバーの先端を化学エッチングすることで作製した。これらの近接場光プローブを用い、図5のようにプリズム表

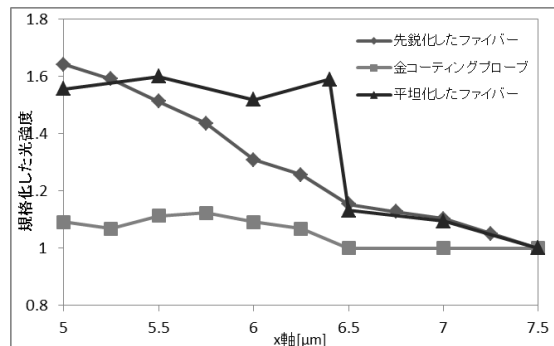


図8 垂直方向に対するエバネッセント波の検出強度分布

面に存在するエバネッセント波の垂直方向

に対する光強度分布を検出した。その結果を図8に示す。位置 $x=7.5\mu\text{m}$ における検出強度を1として規格化した。プローブ先端形状が先鋭、金コーティングされた先鋭、平坦である3つの場合について、光強度分布の差異を検証した。その結果、金コーティングされた先鋭の先端形状のプローブを用いれば、ノイズとなる不要光を遮断できることが判明した。

5. 主な発表論文等

[学会発表](計3件)

篠田大伍, 鹿野貴仁, 太平泰生, 金子双男, 佐々木修己: 「金属ナノピンホールにおけるエバネッセント波干渉計測」, 秋季第74回応用物理学会学術講演会、2013年9月18日、同志社大学.

鹿野貴仁, 太平泰生, 清水英彦, 佐々木修己, 金子双男, 川上貴浩: 「アゾベンゼン薄膜を用いた金薄膜の微細加工法の検討」, 秋季第73回応用物理学会学術講演会、2012年09月13日、愛媛大学・松山大学.

Yasuo Ohdaira, Osami Sasaki, Kazunari Shinbo, Akira Baba, Keizo Kato and Futao Kaneko, "Evaluation of liquid crystal thin films near a metallic probe utilizing evanescent wave interferometer," KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics 2012, 31 Aug 2012, Tohoku University.

6. 研究組織

(1)研究代表者

佐々木 修己 (SASAKI OSAMI)
新潟大学・自然科学系・教授
研究者番号: 90018911

(2)研究分担者

大平 泰生 (OHDAIRA YASUO)
新潟大学・自然科学系・准教授
研究者番号: 10361891

(3)研究分担者

崔 森悦 (CHOI SAMUEL)
新潟大学・自然科学系・助教
研究者番号: 60568418