

金属ナノグレーティングを用いた 環境モニター用導波路共鳴格子伝搬型表面プラズモンセンサー

Surface Plasmon Sensor for Monitoring Environment by using Metal Grating Structures

H25助自73

代表研究者 元 垣 内 敦 司 三重大学 大学院工学研究科 電気電子工学専攻 准教授
Atsushi Motogaito Associate Professor, Division of Electrical & Electronic Engineering,
Graduate School of Engineering, Mie University

共同研究者 平 松 和 政 三重大学 大学院工学研究科 教授
Kazumasa Hiramatsu Professor, Division of Electrical & Electronic Engineering,
Graduate School of Engineering

We exploit surface-plasmon polaritons (SPPs) at the GaP–Au interface to detect chemical species in high refractive index media and verify the device function by detecting 2,4-dichlorotoluene ($C_7H_6Cl_2$, $n=1.55$) and 1-bromonaphthalene ($C_{10}H_7Br$, $n=1.65$). The calculated dispersion relationship shows that the SPP excited in GaP by 635nm light incident at 31.6° is effective for detecting $C_7H_6Cl_2$. Moreover, we analyze the reflectance as a function of the Au layer thickness and find that the illumination angle at which SPPs are excited is consistent with simulation results. When illuminated at 31.6° , the optical electric field is concentrated and transmitted along the Au– $C_7H_6Cl_2$ interface. Furthermore, we use the device to detect solvent concentrations of the solutions C_2H_5OH – $C_7H_6Cl_2$ and C_2H_5OH – $C_{10}H_7Br$. The SPP-excitation angle increases with increasing concentration of $C_7H_6Cl_2$ and $C_{10}H_7Br$. We conclude that chemical species in solutions with an index of refraction less than 1.62 can be detected with this approach. These results suggest that SPPs excited at the GaP–Au interface can be exploited to detect chemical species in high-refractive-index media. Furthermore, we aim at miniaturization and detection of the medium of high refractive index by substituting metal diffraction grating for metal film. The Au gratings were fabricated on the glass substrate by using electron beam lithography and lift-off process. The dependence of reflectance on the incident angle with using the laser (635nm) is characterized. The 1-bromonaphthalene ($C_{10}H_7Br$, $n=1.65$) can be detected by using this sensor when the period of the grating is 600nm.

研究目的

本研究では、屈折率が2.0以上で、化学的に安定な半導体材料であるGaPをクレッチマン配置のプリズムの代わりに利用して伝搬型表面プラズモンセンサーを実現することを目指し、次のことを目的に研究を行う。

1. GaPとAuを用いて、金属薄膜と半導体接触に

よる伝搬型表面プラズモンセンサーを実現する。(図1)

2. センサーの薄型化と高感度化を図るために、金属ナノグレーティングを用いた導波路共鳴格子伝搬型表面プラズモンセンサーを新たに実現する。(図2)

3. 上記1,2の金属-半導体接触伝搬型表面プラズモンセンサーで、屈折率が1.5より大きい被測定媒質に対して、伝搬型表面プラズモンポラリトンの励起を実証する。

概 要

金属表面での電子の疎密波が共鳴することで発現される表面プラズモン共鳴を検出原理とするセンサーである。この伝搬型表面プラズモンセンサーは、細胞、DNA、タンパク質などの有機化合物を検出できるため、医療、創薬、環境計測、食品衛生検査の分野で有用なツールである。表面プラズモンセンサーが利用される1番大きな理由は、金属薄膜周辺で生じる屈折率変化、即ち被測定媒質の濃度に依存して、光学特性変化を示すためである。典型的な伝搬型表面プラズモンセンサーはクレッチマン配置を利用し、可視光または近赤外光のレーザー光を照射し、金属薄膜周辺で生じる屈折率変化をプラズマ振動の共鳴角変化として測定する(図1参照)。しかしながら、一般にはガラスプリズム(屈折率1.5)を利用しているため、屈折率が1.5を超える媒質の検出ができないことが問題である。本研究では、伝搬型表面プラズモンを利用して、屈折率が1.5以上の媒質を容易に検出するために、屈折率が2.0以上で、化学的に安定な材料であるGaP(屈折率3.3)やGaN(屈折率2.4)などのワイドギャップ半導体材料をクレッチマン配置のプリズムの代わりに利用して伝搬型表面プラズモンセンサーを実現する。本研究では、屈折率が2.0以上で、化学

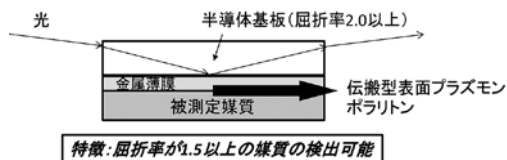


図1 本研究で提案する金属-半導体接触を用いた伝搬型表面プラズモンセンサー(金属薄膜タイプ)

的に安定な半導体材料であるGaPをクレッチマン配置のプリズムの代わりに利用して伝搬型表面プラズモンセンサーを実現することを目指し、次のことを目的に研究を行う。①GaPとAu用いて、金属薄膜と半導体接触による伝搬型表面プラズモンセンサーを実現する。②センサーの薄型化と高感度化を図るために、金属ナノグレーティングを用いた導波路共鳴格子伝搬型表面プラズモンセンサーを新たに実現する。この目的に対し、本報告では、GaP基板とAu薄膜を用いたセンサーとガラス基板とAu回折格子構造を用いたセンサーの作製と光学的特性評価の結果について報告する。

GaP基板上のAu薄膜を用いたセンサーは、両面を鏡面研磨したGaP基板を用いて、GaP基板の片面にAuをスパッタで堆積させ、Auの表面に2-4ジクロロトルエンを接触させ、GaP側から波長635nmの赤色半導体レーザーの光を照射して反射率の入射角度依存性を調べた。反射率の入射角度依存性をシミュレーションにより計算したより、 27.9° が、GaPと2-4ジクロロトルエンの間の臨界角で、ここで反射率が急激に大きくなり、 31.5° で反射率が最も小さくなった。また、 31.5° での反射率はAu膜厚が50nmのとき、最も小さくなった。次にAu膜厚が30nmと70nmのときの反射率測定結果より、 28.1° で反射率が急激に大きくなり、 31.1° で反射率が最も小さくなり、シミュレーション結果と同様の結果が得られた。これらの結果からGaPとAu界面で発生したエバネッセント波によってAuと2-4ジクロロト

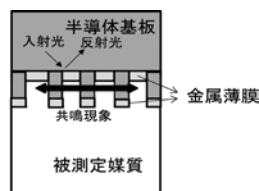


図2 金属ナノグレーティングを用いた導波路共鳴格子伝搬型表面プラズモンセンサー構造

ルエンの界面で表面プラズモンポラリトンが発生しているものと考えられ、GaPは屈折率が1.5より高い媒質の検出に有効であることが明らかになった。更に2,4-ジクロロトルエンとエタノールの混合溶液及び1-プロモナフタレンとエタノールの混合溶液について、濃度を変化させたサンプルを用いて反射率測定を行った。2,4-ジクロロトルエンとエタノールの混合溶液及び1-プロモナフタレンとエタノールの混合溶液のいずれの場合も、濃度が高くなって、屈折率が高くなると、表面プラズモン励起角度は高角度側にシフトすることが明らかになった。2,4-ジクロロトルエンとエタノールの混合溶液では、0～100%の溶液(屈折率1.36～1.55)の検出が可能になり、1-プロモナフタレンとエタノールの混合溶液では0～90%の溶液(屈折率1.36～1.62)の検出が可能になった。

一方、ガラス基板上のAu回折格子構造を用いたセンサーでは、電子線リソグラフィ装置によって描画し、現像液に浸すことによって周期構造を作製した。その後スパッタ装置によりAuを40nm堆積させ、剥離液を用いてレジストを除去することによりAu回折格子を作製した。回折格子の周期は600nmとした。Auの表面に1-プロモナフタレンを接触させ、ガラス側から波長635nmの赤色半導体レーザーの光を照射して反射率の入射角度依存性を調べた。反射率の入射角度依存性をRCWA法により計算した結果と、反射率の測定結果より、 23.9° で反射率の低下することが観測された。この角度は、RCWA法によるSPP励起角度と一致するため、この反射率の低下はSPPの励起によるものだと考えられる。従って、格子周期600nm、Au膜厚40nmの一次元Au回折格子を用いることにより、屈折率 $n=1.65$ の媒質の検出が可能であることが明らかになった。

以上の結果より、屈折率1.65の1-プロモナフタレンまでは、検出可能になったので、更に高

屈折率の媒質の検出を目指すことと、構造の最適化によりセンサーの更なる高感度化を目指した研究を行っていく予定である。

— 以下割愛 —