

強磁性金属/貴金属積層プラズモン導波路とシリコン導波路間の 非相反結合と消光比の解析

Analysis of the Nonreciprocal Coupling and Extinction ratio in a Si Waveguide with Plasmonic Waveguide composed of Ferromagnetic and Noble metals

東京農工大学 福田登, [○]清水大雅

Tokyo University of Agriculture and Technology, Noboru Fukuda, and Hiromasa Shimizu

E-mail: h-shmz@cc.tuat.ac.jp

[はじめに] 光アイソレータは半導体レーザへの戻り光をカットし安定動作させる為に必要不可欠なデバイスである。ファラデー回転を用いた従来の自由空間型光アイソレータは半導体基板上の導波路型デバイスと材料・構造の点で相性が悪いため、一体集積可能な光アイソレータが必要である。近年、InP / InGaAsP や Si / SiO₂ からなる導波路上に強磁性金属を製膜し、横磁気カー効果による表面プラズモン導波路への非相反な結合を利用した導波路光アイソレータ [1, 2] が提案されている。一般に貴金属と誘電体の界面に光を伝搬させるプラズモン導波路の光通信波長帯における伝搬損失は 0.01-1 dB/μm である。屈折率導波型の導波路との間で方向性結合を実現するには、伝搬長を結合器長より長くとる必要がある。光アイソレータ機能を導入すべくプラズモン導波路を構成する金属に強磁性金属を積層すると、伝搬損失が悪化する。したがって方向性結合の実現は困難であり、伝搬方向によって結合器長や結合度の違いを利用した光アイソレータの実証には至っていない。一方、貴金属の Au と強磁性金属の Fe を積層することで、強磁性金属がもたらす磁気光学効果を利用しつつ、プラズモン導波路の伝搬損失を低減する試みが報告されている [3]。本研究では、プラズモン導波路を構成する際、誘電体と強磁性金属を直接接合させるのではなく、Au をバッファ層として強磁性金属を積層させた。磁気光学効果による実効屈折率の変化と低伝搬損失を両立し、屈折率導波型の光導波路との間で方向性結合と伝搬方向の違いによる伝搬損失の差(消光比)を時間領域有限差分法(FDTD 法)によって解析したので報告する。

[原理] 図 1 に本研究で解析したプラズモン光アイソレータの模式図を示す。Au バッファ層の厚さは 10 nm、強磁性金属 Fe 層の厚さは 10 nm と固定した。z = 2 μm から Au / Fe / Au 層を配置した。光の伝搬方向に垂直かつ基板面内に磁化させた。誘電率の非対角項の符号の反転により強磁性金属 Fe の横磁気カー効果による前進光と後退光の違いを反映させた。Si コア層の膜厚は 220 nm とし、積層方向の光閉じ込めのみ考慮した。入力光は波長 1550 nm の TM モードとした。各層の屈折率や磁気光学効果の解析に必要な誘電率テンソルの非対角項 ϵ_{xz} は図 1 に示す通りである。図 1 の導波路は、SiO₂ / Si / SiO₂ 導波路の導波モードと Au(80nm) / Fe(10nm) / Au バッファ層(10nm) / Si / SiO₂ 中の金属・誘電体界面のプラズモン導波モードの 2 つのモードをもつため、方向性結合器とみなせる。SiO₂ / Si / SiO₂ 導波路の実効屈折率(2.052)がプラズモンモードの後退光の実効屈折率の実部に一致するように、Au 層直下の Si 層厚を 70.25 nm と設定した。後退光に対する結合長を光アイソレータの素子長に設定することでプラズモン導波路との強い結合による大きな伝搬損失を与える一方、前進光に対しては 2 つの導波路間の結合が完全でなく、低伝搬損失を小さくすることができ、光アイソレータ動作を実現できる。前進光は、プラズモンモードの実効屈折率の実部が 2.052 に一致するように Au 層直下の Si 層厚を調整し 69.25 nm とすることで取り扱った。

[計算結果] 図 1 に示した導波路の Si コア層の中心、z = 0 μm に光源を設置した場合の光波の伝搬の様子を FDTD 法により計算した。計算結果を図 2 に示す。Si をコアとする導波路とプラズモン導波路の間で方向性結合を確認した。前進光の結合長は 4.5 μm、後退光の結合長は 4.6 μm となった。結合器長だけ伝搬したとき、前進光・後退光の伝搬光強度はそれぞれ -20.2 dB, -23.9 dB となり、3.7 dB の消光比を確認した。本解析により、強磁性金属を含むプラズモン導波路に Au バッファ層を導入することで伝搬損失を低減することができ、方向性結合の伝搬方向による違いと消光比 3.7 dB を見いだした。

[謝辞] 本研究は科研費(24686045, 16H04346)の助成を受けました。

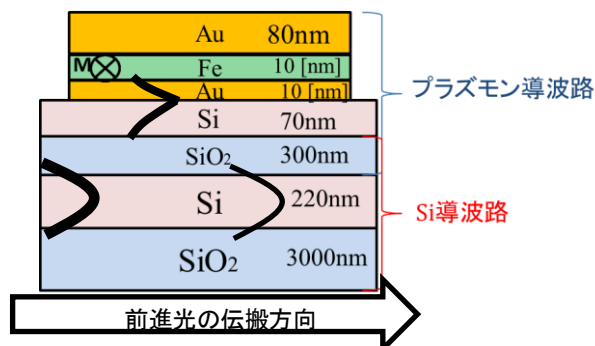


図 1 非相反結合に基づく導波路光アイソレータの模式図

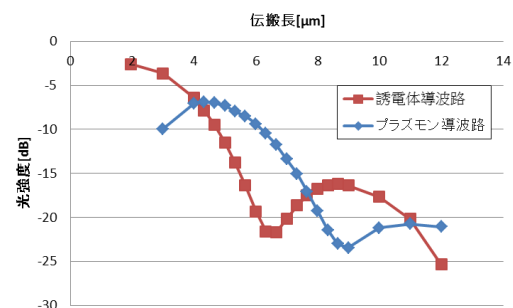


図 2 FDTD 法による伝搬光強度の計算結果

- [1] J. Montoya et al., J. Appl. Phys. 106, 023108 (2009). [2] 福田、清水他 2015 年電子情報通信学会ソ大会 C-3-11.
[3] D. Martin-Becerra et al, Appl. Phys. Lett. 97, 183114 (2010).