

相変化材料を用いた EIT デバイスの可能性に関する FDTD モデル解析

FDTD analysis on possibility of EIT based switching device using phase change material

草場 美幸 (M2)

Miyuki Kusaba

Abstract

We calculated the plasmonic electromagnetically induced transparency of nanostructures on a phase change material. The transmissive window changes depending on the surrounding medium and the distance of antenna.

1. はじめに

電磁誘導透過(EIT)は量子干渉効果で、狭いスペクトル領域で光の吸収を減らすことが可能であり、近年はスローライトの発生等にも利用されている。媒質の分散関係の急激な変化は透過率の増加と関連しており、屈折率が等価的に大きくなるので光を十分に遅くすることが出来る。最近、EITのような効果を古典的な発振器において生じさせることができる、という事実に注目が集まっているが、プラズモン誘導透過は先送りにされてきた。

しかし、2009年 Liu らによって実験的にプラズモン EIT 現象が実証された[1]。彼らはまず二つの層から成る金試料を作製した。上の層は励起光と強く結びつき広いスペクトル幅を持つダイポールアンテナの役割をする。一方、下の層は非放射の四重極子アンテナとして働き、共鳴周波数はダイポールアンテナの吸収と一致する。四重極子アンテナの減衰は、ほとんど固有の金属ロスのみ起因し、ダイポールアンテナの放射減衰に比べてとても小さい。これらを接近させることにより、二つのアンテナは強く結合し、結果として二つの励起経路が干渉し打ち消しあうことにより EIT のような現象を生じさせた。

一方、プラズモン場は周囲の媒質の屈折率によって異なることが知られている[2]。本研究では、相変化材料を基板として、 π 型の金ナノ構造のプラズモン EIT 現象の FDTD 解析を行なった。

2. FDTD シミュレーションモデル

本研究では、富士通の poynting という FDTD シミュレーションソフトを用いて計算を行なった。

基板として用いた相変化材料は $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (GST) と VO_2 である。これらの相変化材料はそれぞれアモルファス相と結晶相、S 相と M 相の 2 つの相状態を持つ。これらの複素屈折率は相状態によって大きく異なり、その複素屈折率を Fig. 1 に示す。

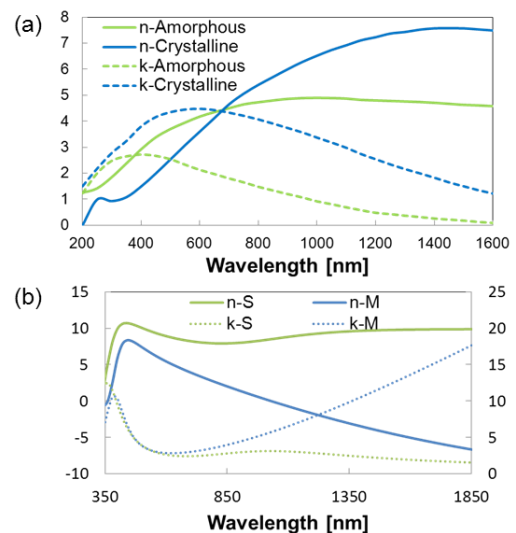


Fig. 1 Complex refractive index of (a) of $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ [3] and (b) VO_2 [4].

シミュレーションモデルは、Fig. 2 に示すように厚さ 1500 nm の ITO($n=1.8$)基板上に相変化材料を置いた基板上に高さ 40 nm の金ナノ構造が π 型に配

置されているモデルである。y 方向に配置した金ロッドがダイポールアンテナの役割を、x 方向に配置した 2 本の金ロッドが四重極子アンテナの役割をする。

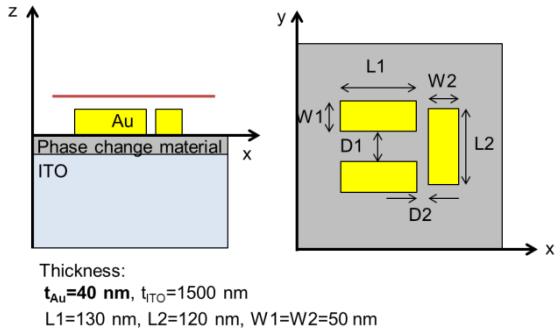


Fig. 2 Simulation model.

3. FDTD シミュレーション結果

A. ITO 基板上的プラズモン EIT 現象

はじめに、相変化材料を用いずに ITO 基板上に金ナノロッドを配置したときのプラズモン EIT 現象の解析を行なった。ここでは、四重極子アンテナ間の距離(D1)およびダイポールアンテナ-四重極子アンテナ間の距離(D2)が EIT の形状にどのような影響を及ぼすかを検証した。D1 を 10~120 nm まで変化させたときの透過率の変化を Fig. 3 に示す。

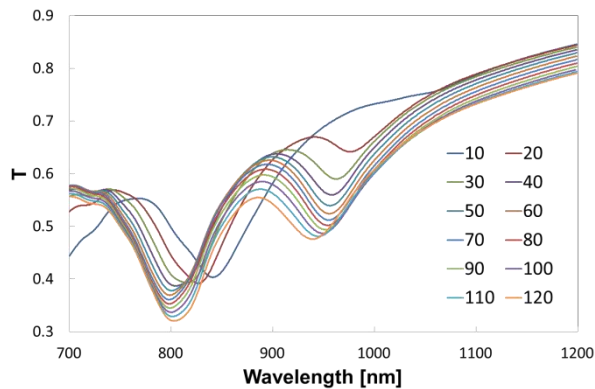


Fig. 3 Transmission changing D1.

Fig. 3 において、D1 が 10 nm のときはプラズモン EIT 現象は生じていないが、D1 を大きくしていくと透過窓が波長 900 nm 付近で EIT 現象ははっ

きりと生じていくことが分かった。D1 は四重極子アンテナの性能を決定する値である。D1 が小さすぎると四重極子アンテナとして働きにくくなるが、ある程度の値を持つ場合は EIT 形状に大きな影響は与えないことが分かった。

次に、D2 を 10~30 nm まで変化させたときの透過率と反射率、吸収率の変化を Fig. 4 に示す。Fig. 4 において、D2 を大きくしていくと透過窓は狭くなり、深さが小さくなって、さらに短波長側にシフトしていくことが分かる。D2 はダイポールアンテナと四重極子アンテナ間の結合の強さを決定する項であるため、D2 が大きすぎるとその結合は弱くなりプラズモン EIT 現象が生じにくくなることが分かる。

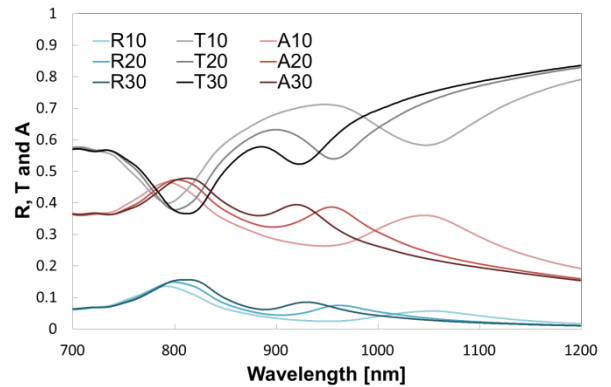


Fig. 4 Reflection, transmission, and absorption changing D2.

B. 相変化基板上的プラズモン EIT 現象

次に、ITO 基板上に相変化材料を置いたときのプラズモン EIT 現象の解析を行なった。厚さ 5 nm の GST を ITO 基板上に設置して、D1 を 50 nm とし、D2 を 1~30 nm まで変化させたときの透過率の変化を Fig. 5 に示す。Fig. 5(a), Fig. 5(b) はそれぞれ GST がアモルファス相と結晶相のときの透過率である。Fig. 5 において、どちらの相状態においてもプラズモン EIT 現象が生じる D2 の距離が短くな

っている。これは、GST によるプラズモン場の吸収が大きく、アンテナ間が結合する距離が短くなっているためである。D2 が 2 nm のときにどちらの相状態においても EIT 現象が見られ、EIT 透過窓が狭くなっている。

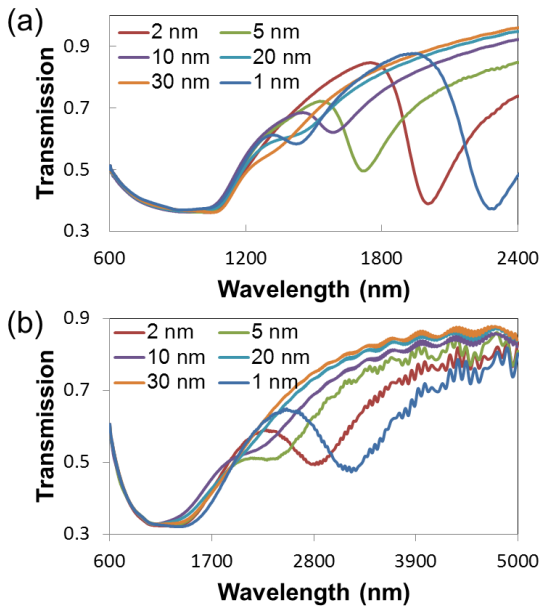


Fig. 4 Transmission changing D2 on GST.
(a)Amorphous phase. (b) Crystalline phase.

そこで、D2 を 2 nm として D1 を 10~130 nm まで変化させたときの透過率の変化を計算した。その結果を Fig. 6 に示す。Fig. 6(a), Fig. 6(b)はそれぞれ GST がアモルファス相と結晶相のときの透過率である。Fig. 6 においては、D1 が大きくなるにつれて透過窓がはっきりと見られた。ダイポールアンテナはその端で最も電界が強くなるため、ダイポールアンテナの端に四重極子アンテナに近いほうが効率よく結合する。そのため、D1 が 90 nm で最もプラズモン EIT 現象が強く見られた。D2 が 2 nm, D1 が 90 nm のときのアモルファス相と結晶相の透過率を Fig. 7 に示す。GST の相状態をアモルファ

ス相から結晶相に変化させることにより、透過窓が狭く深くなることが分かる。このように、GST の相状態を変化することにより、プラズモン EIT 現象の透過窓の大きさや波長を変化させることが可能である。

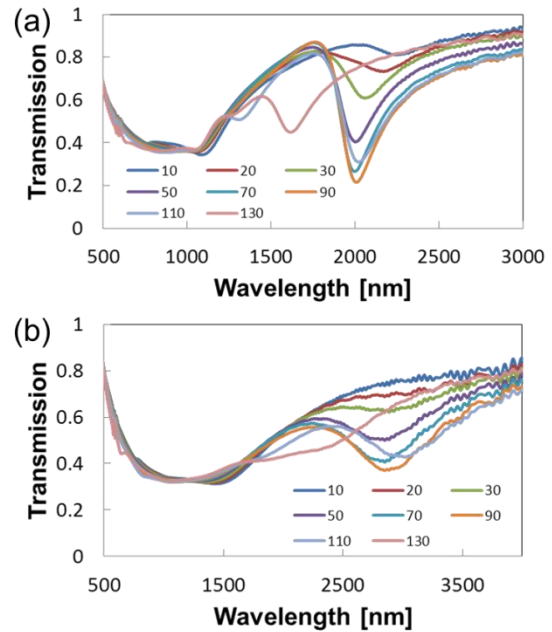


Fig. 6 Transmission changing D1 on GST.
(a)Amorphous phase. (b) Crystalline phase.

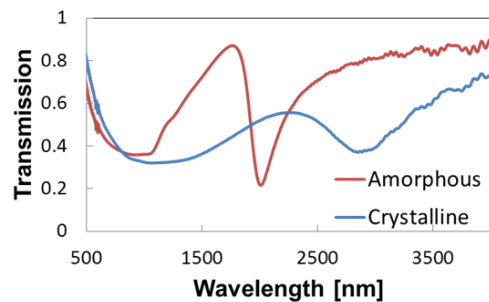


Fig. 7 Transmission on GST.

同様に、相変化材料を厚さ 10 nm の VO₂ としたとき、S 相と M 相の透過率を Fig. 8 に示す。このとき、D1, D2 がそれぞれ 50 nm, 30 nm である。

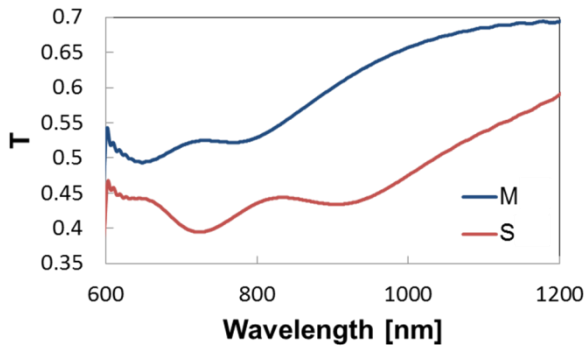


Fig. 8 Transmission on VO₂.

Fig. 8 において、S 相から M 相に変化させることにより、その透過率は大きくなることが分かる。さらに、透過窓は短波長側にシフトすることが分かった。VO₂ を用いた場合は GST の場合と比較すると相状態による EIT 現象の変化は小さい。EIT 現象が生じる波長帯域における相変化材料の複素屈折率の差が EIT 現象の差に影響するためである。複素屈折率差が大きな材料を選択することによって、相状態による EIT 現象の差も大きくなる。

4. まとめ

プラズモン EIT 現象は、プラズモン場と同様に周囲の媒質の屈折率によって変化する。本研究においては、相変化材料の相状態によりプラズモン EIT 現象の透過窓の波長や大きさをスイッチ出来ることを FDTD シミュレーションを用いて示した。

References

- [1] N. Liu, L. Langguth, T. Weiss, J. Kästel, M. Fleischhauer, T. Pfau, Harald Giessen, *Nature Materials*, **8**, 758 (2009)
- [2] Z. Jian, D. Xing-chun, Li. Jian-jun, Z, Jun-wu, J. *Nanopart. Res.*, **13**, 953 (2011)
- [3] S. Raoux, *Annu. Rev. Mater. Res.*, **39**, 25 (2009)
- [4] G. Xu, Y. Chen, M. Tazawa, P. Jin, *J. Phys. Chem. B*,