

金属ナノホール列における多重 Fano 共鳴

Multiple Fano resonance in metallic nanohole arrays

○ 西田 宗弘, 角屋 豊 (広大先端研)

○ Munehiro Nishida, Yutaka Kadoya (Hiroshima Univ.)

E-mail: mnishida@hiroshima-u.ac.jp

直径数百 nm の穴の周期的な列 (ナノホール列) を作成した金属薄膜においては, 光の異常透過 (EOT) 現象に代表される共鳴的な光学応答が生じる。これは, 金属表面に閉じ込められた表面プラズモン・ポラリトン (SPP) が, 周期列からの回折を受けて遠方場と結合することにより, 漏れのある共振器モードとして振る舞うことに由来する。漏れのある共振器の存在により, その励起を伴う共鳴透過波と伴わない直接透過波との干渉により Fano 共鳴が起こり, 非対称な共鳴スペクトルが生じている。

特に, 穴の直径が比較的大きい場合には, 金属膜の上下面に生じる 2 つの SPP が穴の高次導波モードにより結合し, 多彩な多重極 SPP が生じる [1]。さらに, 多重極 SPP の回折により, 異なる共振器モードが縮退, あるいは, 近接して現れる。これらのモードを介した複数の共鳴透過波の干渉 (多重 Fano 共鳴) により, より多彩な光学応答が得られると期待できる。

そこで本研究では, 多重 Fano 共鳴が, 金属ナノホール列の光学応答にどの様に現れるかを調べるために, 穴の導波モードに基づいた空間的結合モード (SCM) 法 [1] と, 結合共振器系の時間発展を追う時間的結合モード (TCM) 法 [2] を用いて詳細な解析を行った。図 1 は, 直径 300nm, 周期 500nm, 膜厚 160nm の正方格子金ナノホール列が水中にある場合に対する吸収スペクトルの計算結果 (SCM 法) である。破線は上下対称な電荷分布を持つ共振器モード (結合モード), 一点鎖線は反対称な電荷分布を持つモード (反結合モード) の分散関係を表す。結合モードと反結合モードが交差する領域では吸収が増大する様子が見て取れる。図 2 は縮退点付近のスペクトルを示したもののだが, 縮退点で, ほぼ完全な吸収が実現出来ている事が分かる。また, 図 3 は, 金膜厚 100nm, x 方向の周期 450nm, y 方向の周期 570nm の長方格子系に対する透過スペクトルである。2 つの結合モードが非常に近接して現れ, そこでは, かなり鋭い透過率のディップ構造が現れることが図 4 から分かる。さらに TCM 法を用いて解析した結果, これらの現象は, 電磁誘起吸収 (EIA), 電磁誘起透明化 (EIT) 現象と同じメカニズムで起こっている事が分かった。

そこで本研究では, 多重 Fano 共鳴が, 金属ナノホール列の光学応答にどの様に現れるかを調べるために, 穴の導波モードに基づいた空間的結合モード (SCM) 法 [1] と, 結合共振器系の時間発展を追う時間的結合モード (TCM) 法 [2] を用いて詳細な解析を行った。図 1 は, 直径 300nm, 周期 500nm, 膜厚 160nm の正方格子金ナノホール列が水中にある場合に対する吸収スペクトルの計算結果 (SCM 法) である。破線は上下対称な電荷分布を持つ共振器モード (結合モード), 一点鎖線は反対称な電荷分布を持つモード (反結合モード) の分散関係を表す。結合モードと反結合モードが交差する領域では吸収が増大する様子が見て取れる。図 2 は縮退点付近のスペクトルを示したもののだが, 縮退点で, ほぼ完全な吸収が実現出来ている事が分かる。また, 図 3 は, 金膜厚 100nm, x 方向の周期 450nm, y 方向の周期 570nm の長方格子系に対する透過スペクトルである。2 つの結合モードが非常に近接して現れ, そこでは, かなり鋭い透過率のディップ構造が現れることが図 4 から分かる。さらに TCM 法を用いて解析した結果, これらの現象は, 電磁誘起吸収 (EIA), 電磁誘起透明化 (EIT) 現象と同じメカニズムで起こっている事が分かった。

[1] M. Nishida, N. Hatakenaka, and Y. Kadoya, Phys. Rev. B **91**, 235406 (2015).

[2] W. Suh, Z. Wang, and S. Fan, IEEE J. Quantum Electron., **40**, 1511 (2004).

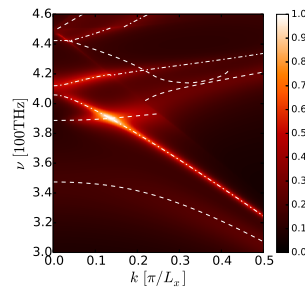


図 1: 吸収スペクトル ($L_x = L_y = 0.5, h = 0.16$ [μm])

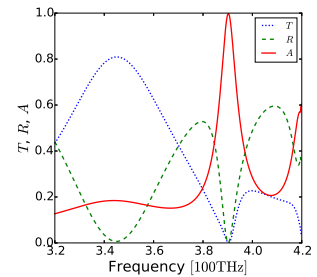


図 2: 透過 T , 反射 R , 吸収 A スペクトル ($k_x L_x = 0.14\pi$)

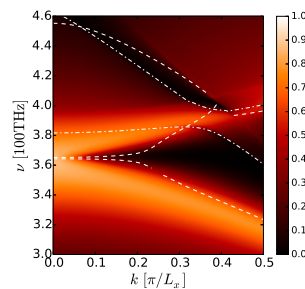


図 3: 透過スペクトル ($L_x = 0.45, L_y = 0.57, h = 0.1$)

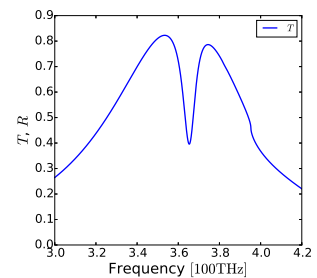


図 4: 透過スペクトル ($k_x L_x = 0.1\pi$)