

全反射光取り出し 2 層金属グレーティングの特性を支配する機構の分析

Analysis of the mechanism governing the properties of double layer metal gratings for extracting totally reflected lights

広島大学大学院 先進理工系科学研究科

竹安 隼哉, 西田 宗弘, 角屋 豊

Grad. School of Adv. Sci. Eng, Hiroshima Univ.

Shunya Takeyasu, Munehiro Nishida, Yutaka Kadoya

E-mail: m215452@hiroshima-u.ac.jp

1. 背景と目的

メタ表面による光や電磁波の制御の研究が盛んである. 我々は応用上重要な, 半導体デバイス等からの全反射光の高効率取り出しを検討している. 例としては, 量子カスケードレーザー[1]からのテラヘルツ波取り出しなどが考えられる[2]. 前回の発表では 2 層金属グレーティング構造で約 50%の効率が得られるというシミュレーション結果を報告した[3]. その中で, 層間膜厚依存性が対称または非対称になる場合がみられたが, その仕組みは不明であった. 今発表では Temporal Couple-Mode Theory (TCMT) [4]を使用して, これらの特性を支配する機構の分析を行った結果を報告する.

2. TCMT

図 1 にデバイス構造を示す. この系では層間のファブリペロー共鳴に 4 個の回折ポートが接続している. TCMT では, 時間変化を $e^{-i\omega t}$ として, 散乱行列 (4×4) が次のように記述される.

$$S = C + xDD^T$$

ここで, D は共振とポートの結合を表す 4×1 行列, C はポート間の直接散乱を表す 4×4 行列であり, 相反性より S と C は対称行列である. また $x = [i(\omega_0 - \omega) + \gamma_{\text{rad}}]^{-1}$ としており, $\omega_0 - i\gamma_{\text{rad}}$ は共振周波数である. ここでは解析を簡単化するため無損失とする. この場合, S と C はユニタリーである. 以上の式を使い, 電磁界シミュレーションから得られた S に対応する C と D を求めた.

3. 結果及び考察

基板側への 0 次反射係数は $s_{11} = c_{11} + xd_1d_1$, 空気側への透過係数は $s_{41} = c_{41} + xd_1d_4$ と表される. ファブリペロー共鳴が 1 次共鳴となる $L = 37.2 \text{ } [\mu\text{m}]$ 付近における回折効率を図 2 に, s_{11} , s_{41} の第 1 項と第 2 項を, それぞれ図 3, 図 4 に示す. s_{11} では厚さが大きくなると, 直接散乱を表す第 1 項と共鳴を介する散乱である第 2 項の位相差が π に近づいていくことが分かる. したがって, 共鳴点付近で回折効率は単調に減少していき, 非対称なピークになる(ファノ共鳴). 一方 s_{41} では第 1 項は影響しておらず, 空気側の効率は第 2 項の振幅によって決定されることが判明した. この結果より空気側の効率を大きくするためには, 空気側と共鳴の結合度合いを表す d_4 を大きくすることが示唆された.

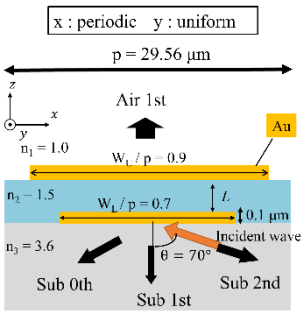


図 1：デバイス模式図

参考文献

[1] K. Fujita, *et al.*, Nanophotonics 7, 1795 (2018). [2] Y. Kadoya and Y. Hashiuchi, SPIE Defense + Commercial Sensing 2021, DOI:10.1117/12.2588972. [3] 竹安, 他, 応用物理学会 2021 年秋, 11a-S203-4. [4] W.Suh, *et al.*, IEEE J. QUANTUM ELECTRON. Vol.40, 1511 (2004).

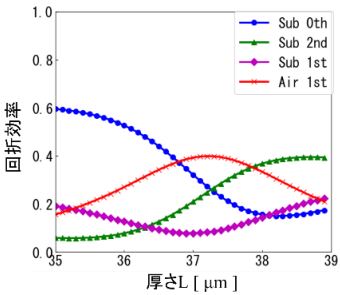


図 2：1 次共鳴付近の回折効率

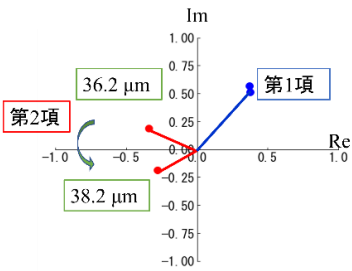


図 3：S₁₁ (Sub 0th)

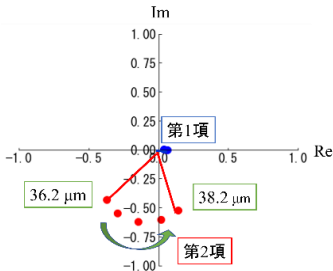


図 4：S₄₁ (Air 1st)