三次元転送行列法を用いた金被覆異方的半球配列構造の反射光学特性の解析

Analysis of optical reflection characteristics on gold-coated anisotropic hemisphere array by three-dimensional transfer matrix method

宇大光工学 [1]，宇大 CORE[2]，産総研 [3]　○ 茨田 大輔 [1,2,3]，福田 隆史 [3]
Opt. Eng., Utsunomiya Univ.[1], CORE, Utsunomiya Univ.[2], AIST[3],
○Daisuke Barada[1,2,3], Takashi Fukuda[3]
E-mail: barada@cc.utsunomiya-u.ac.jp

サブ波長構造をもつ微細光学素子は，特殊な光学機能を有することが知られている．これまでの研究で，センシングへの応用を目的として，半球配列構造に金を被覆した構造を提案してきた [1]．この構造は，作製過程において一方向に延伸することができ，延伸すると反スペクトルのピークがシフトし，幅が狭くなる特性が得られる．この特性は，センシングに有利であると考えられるが，どのような延伸率が最適であるのか，不明である．本研究では，最適な構造を探索する方法を提案する．検討している構造は，金が被覆された層構造であるので，転送行列法を三次元に拡張して用いる．

転送行列法は，界面上における電磁場の平行成分が連続であるという境界条件を用いて，各層における電磁場を求める方法である．本研究では，電磁場は平面波の重ね合わせとして表現する．$+z$ 方向に伝播するひとつの平面波は，

$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{a}\exp\left(\mathrm{i}k_x x + \mathrm{i}k_y y + \mathrm{i}k_z z\right) \tag{1}$$

$$\boldsymbol{H} = \boldsymbol{b}\exp\left(\mathrm{i}k_x x + \mathrm{i}k_y y + \mathrm{i}k_z z\right) \tag{2}$$

$$k_z = \sqrt{k^2 - k_x^2 - k_y^2} \tag{3}$$

と書ける．ここで，k は媒質における角波数である．電磁場がマクスウェル方程式を必ず満たすために，振幅ベクトルに

$$a_x = \frac{k_y}{k_0}a^{(\mathrm{TE})} + \frac{k_x k_z}{k_0^2}a^{(\mathrm{TM})} \tag{4}$$

$$a_y = -\frac{k_x}{k_0}a^{(\mathrm{TE})} + \frac{k_y k_z}{k_0^2}a^{(\mathrm{TM})} \tag{5}$$

$$a_z = -\left(\frac{{k_x}^2}{k_0^2} + \frac{{k_y}^2}{k_0^2}\right)a^{(\mathrm{TM})} \tag{6}$$

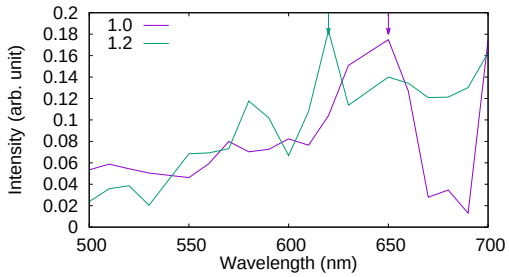

Fig. 1: Reflection spectrum

$$b_x = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}\left(\frac{k_x k_z}{k_0^2}a^{(\mathrm{TE})} - n^2\frac{k_y}{k_0}a^{(\mathrm{TM})}\right) \tag{7}$$

$$b_y = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}\left(\frac{k_y k_z}{k_0^2}a^{(\mathrm{TE})} + n^2\frac{k_x}{k_0}a^{(\mathrm{TM})}\right) \tag{8}$$

$$b_z = -\left(\frac{{k_x}^2}{k_0^2} + \frac{{k_y}^2}{k_0^2}\right)\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}a^{(\mathrm{TE})} \tag{9}$$

という条件を与えた．このとき，各層における各平面波の $a^{(\mathrm{TE})}$，$a^{(\mathrm{TM})}$ を連立して求めることによって，正反射光の反射スペクトルを計算した．Fig. 1 に半径 250nm の半球配列に 10nm の金を被覆した構造における反射スペクトルの例を示す．延伸率は 1 と 1.2 とし，偏光は延伸方向に垂直な方向とした．わずかな構造の延伸によってスペクトルが変化することが図より分かる．今後は，延伸率をパラメータとした電磁場のテイラー級数を用いて解析を行うことも検討する [2]．

本研究の一部は JSPS 科研費 17H03136 の助成により行われた．

[1] 福田他，第 62 回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集，11-110 (2015)
[2] 茨田他，第 66 回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集，03-083 (2019)

© 2020年 応用物理学会