

モデルを変更した RCWA 法によるサブ波長周期構造の表面反射率算出

Calculation of Surface Reflectance from Subwavelength Periodic Structure

Using RCWA which Changed the Calculation Model

阪府大工, °水谷 彰夫, 亀田 信治, 菊田 久雄

Osaka Prefecture Univ. °Akio Mizutani, Shinji Kameda, Hisao Kikuta

E-mail: mizutani@me.osakafu-u.ac.jp

誘電体あるいは、金属と誘電体からなるサブ波長 1 次元周期構造は、構造複屈折波長板やワイヤグリッド偏光子などに用いられている。これらの素子の光学特性は、時間領域差分 (FDTD) 法[1]や厳密結合波解析 (RCWA) 法[2]で計算することができる。一方、有効媒質理論 (EMT: effective medium theory) はサブ波長の周期構造内における光波の振る舞いを理解するのに有用な理論である。これまで我々は、金属/誘電体周期構造 (MDMS : metal-and-dielectric multilayered structure) の表面における光波の反射率を EMT によって算出する方法を提案した[3]。しかし、この方法の有効性を確かめるために、FDTD 法による計算結果と比較していたため、計算速度と精度が充分とはいえなかった。そこで、本研究では RCWA 法のモデルを少し変更することによって、MDMS 表面反射率を精度よく高速に算出する方法を提案する。

通常の RCWA 法では、入射側と透過側は一樣媒質と想定し、周期構造は図 1(a)のように有限の厚さ d を持っている。反射・透過率は厚さに依存するため、このままでは表面反射率のみ計算することができない。ただし、構造が吸収媒質の場合は、構造厚さを充分厚くし、透過が 0 になるようにすれば、表面反射率を計算できる。充分厚い構造厚さが一種の吸収境界条件のように作用する。x 方向に周期をもつ構造に、電場が紙面に垂直な TE 偏光を入射したとき、構造中の電場 E_y は

$$E_y(x, z) = \sum_p S_{yp}(z) \exp(-jk_{xp}x) \quad (1)$$

$$S_{yp}(z) = \sum_m w_{pm} [c_{1m} \exp(\gamma_m^{1/2} z) + c_{2m} \exp(-\gamma_m^{1/2} (z-d))]$$

のように、複素振幅 S_{yp} を、波数 k_{xp} で展開した平面波の重ね合わせで表現することが出来る。なお添え字の p と m はそれぞれ回折次数とモード次数を示す。結合方程式から導いた固有値問題における固有値 γ と固有ベクトル w は、固有モード波の z 方向伝播定数と平面波に含まれる各固有モードの割合を表し、各固有モード波は式(1)のように、振幅 c_{1m} の $+z$ 方向に進む下方進行波と振幅 c_{2m} の $-z$ 方向に進む上方進行波に分離される。

一方、本提案手法では、図 1(b)のように、構造厚さは無限、構造内部の電場が下方進行波のみであると仮定する。すると、境界条件は構造表面のみとなるが、未知数が反射係数と下方進行波の振

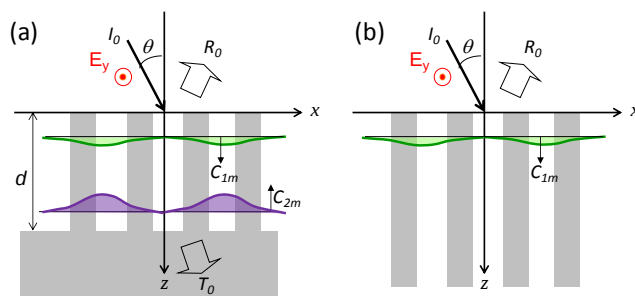


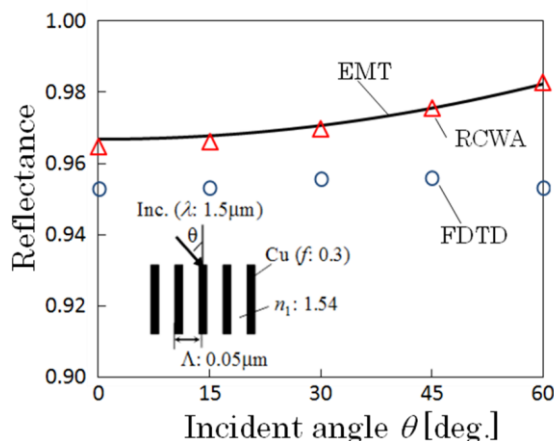
Fig. 1 (a) Common RCWA model, and (b) proposed RCWA model.

幅 c_{1m} のみとなるため、連立方程式を解くことができ、反射率が求められる。解くべき連立方程式が半分になるため、計算速度は約 20%速くなる。

本手法によって入射角に対する TE 偏光反射率を計算した結果を図 2 に示す。具体的な計算モデルは図中に示している。本手法で求めた反射率の値 (RCWA 法:△印) は、FDTD 法による計算結果 (○印) よりも EMT の結果とよく一致している。入射角が大きくなるほど、その誤差が大きく、60 度入射のとき 3%の誤差であった。また、図には載せていないが、TM 偏光に対する反射率は、最大 0.3%の誤差であった。講演では、構造が斜めに傾いた場合も述べる。

参考文献

- [1] A. Taflovie *et al.*, Computational Electromagnetics: the Finite-Difference Time Domain Method (Artech House, 2005).
- [2] M. G. Moharam, *et al.*, J. Opt. Soc. Am. A, **12**, 1068 (1995).
- [3] S. Kameda, *et al.*, JJAP., **51**, 042202 (2012).

Fig. 2 Reflectance from an MDMS surface as a function of the incident angle θ .