

三次元光導波路の横方向等価回路による固有モード計算  
 - 多層超薄膜構造への応用 -  
 Calculation of eigenmode for 3 dimension optical waveguide  
 based on lateral equivalent network  
 - Application to 3-D thin film multilayer structure -

井上 学 平岡 隆晴 許 瑞邦  
 Manabu Inoue Takaharu Hiraoka Hsu, Jui-Pang

神奈川県 工学部 電気電子情報工学科

Department of Electrical, Electronics and Information Engineering, Kanagawa University

1.はじめに 三次元光導波路の固有モード解析を従来横方向不連続部は数学的関係式から直接計算していた。この度、TEmodeとTMmodeの境界条件が一致する事より図3に示す電流源と変圧器を用いた横方向等価回路で固有モードを計算する。

2.解析方法 三次元光導波路の固有モード解析にあたり、Maxwellの方程式に変数分離法を適用し、高さ方向(z)と横方向(x)に分けて計算を行う。高さ方向においてはfgh関数を導出。横方向では横方向のモード電圧・電流のモード整合方程式を導出する。従来モード整合方程式は以下の(i)に示すように数学的関係から直接導出し、不連続部は図2に示す暗箱で表示される。それを(ii)に示すようにして回路方程式に整理。解析を行う。

(i) 数学的関係式の導出 (従来法)

$$\begin{cases} \bar{J}_{m\perp}^{IH} - j\eta_0 \sum_n H_{m,n}^{IHE} \cdot J_{n\parallel}^{IE} = \sum_p F_{m,p}^{IH2H} \cdot \bar{J}_{p\perp}^{2H} - j\eta_0 \sum_q H_{m,q}^{IHE2E} \cdot J_{q\parallel}^{IE} \\ \bar{J}_{n\perp}^{IE} - \frac{1}{j\eta_0} \sum_m H_{n,m}^{IE1H} \cdot J_{m\parallel}^{IH} = \sum_q F_{n,q}^{IE2E} \cdot \bar{J}_{q\perp}^{2E} - \frac{1}{j\eta_0} \sum_p H_{n,p}^{IE2H} \cdot J_{p\parallel}^{IH} \end{cases} \quad (1)$$

(ii) 横方向等価回路の導出

TEmodeのf,h関数とTMmodeのh,f関数の境界条件の一致を利用し、モード結合係数を式(2)ように変形する。

$$H_{m,q}^{IH2E} = \sum_p F_{m,p}^{IH2H} \cdot H_{p,q}^{2H2E}, H_{n,p}^{IE2H} = \sum_q F_{n,q}^{IE2E} \cdot H_{q,p}^{2E2H} \quad (2)$$

さらに次のようなモード変換電流を定義する。

$$\begin{cases} i_m^{IH} = j\eta_0 \sum_n H_{m,n}^{IHE} \cdot J_{n\parallel}^{IE}, i_p^{2H} = j\eta_0 \sum_q H_{p,q}^{2H2E} \cdot J_{q\parallel}^{2E} \\ i_m^{IE} = \frac{1}{j\eta_0} \sum_n H_{m,n}^{IE1H} \cdot J_{n\parallel}^{IH}, i_p^{2E} = \frac{1}{j\eta_0} \sum_q H_{p,q}^{IE2H} \cdot J_{q\parallel}^{2H} \end{cases} \quad (3)$$

するとモード電流整合方程式は次のように表せる。

$$\begin{cases} \bar{J}_{m\perp}^{IH} - i_m^{IH} = \sum_p F_{m,p}^{IH2H} (\bar{J}_{p\perp}^{2H} - i_p^{2H}) \\ \bar{J}_{n\perp}^{IE} - i_n^{IE} = \sum_q F_{n,q}^{IE2E} (\bar{J}_{q\perp}^{2E} - i_q^{2E}) \end{cases} \quad (4)$$

この式(4)が回路方程式である。これにより図3のように不連続部は、電流源と変圧器を用いた等価回路で表示される。

3.解析構造 解析対象の構造は基盤 SiO<sub>2</sub> (T2=1.0 μm)、導波路部は TiO<sub>2</sub> (1層の厚さ0.02 μm) と SiO<sub>2</sub> (1層の厚さ0.1 μm) を交互に計10層 (TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> 5×2層構造) 積み重ねた多層超薄膜構造とした。図1で、W1=1.0 μm, W2=2.0 μm, W3=1.0 μm, T1=1.6 μm, T2=1.0 μm, T3=0.6 μmとした。また構造全体の上下左右は金属壁で囲まれているとし、電気壁と設定した。

4.解析結果 図4に数学的関係式による手法と等価回路方程式による手法のそれぞれで導出した電磁界分布を並べて示す。ここで二つの手法の結果に差はほとんど見られない事が確認できる。ちなみに Hx成分とは磁界Hのx成分である事を示す。

5.結び 本報告ではステップ型一様不連続部横方向等価回路方程式を用いた多層超薄膜構造の三次元光導波路解析を行った。多層超薄膜導波路解析におけるその有効性を確かめられた。

参考文献 [1]許,六田「表面波の不連続部での結合方程式」信学技報[マイクロ波]MW81-110[2]許,六田「平面的伝送線路の平面回路方程式による解析」信学技報[マイクロ波]MW83-129[3]辻,平岡,許「三次元光導波路ステップ型一様不連続部での横方向等価回路の導出」MW2001-126

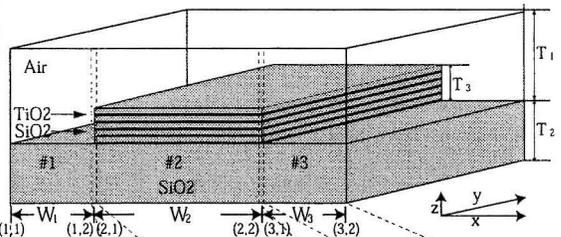


図1. 多層超薄膜構造

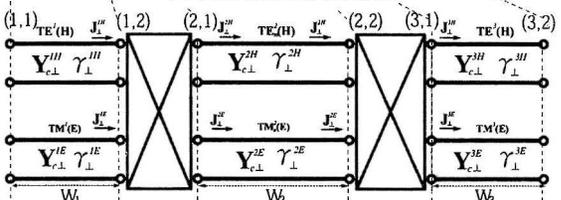


図2. 数学的関係式による不連続部の暗箱表示

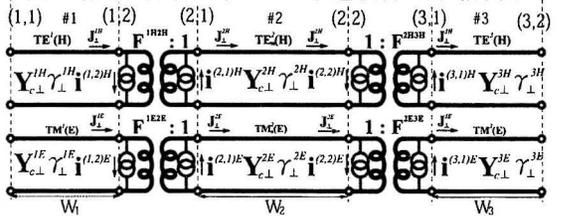
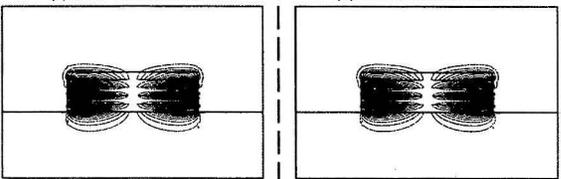


図3. 回路方程式による不連続部等価回路表示

(a) 数学的関係式法

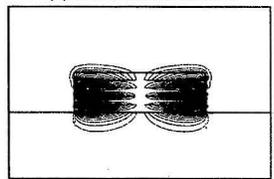
(b) 等価回路方程式法



(max:0.93160)

実効屈折率 1.645353126

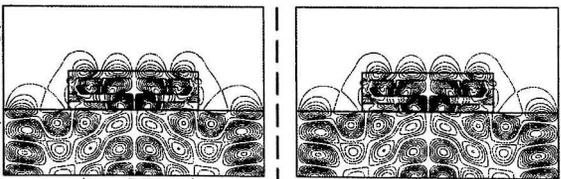
(A)モード1番目



(max:0.93156)

実効屈折率 1.645353165

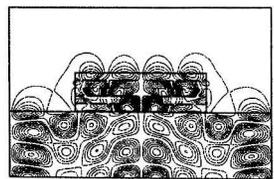
(B)モード100番目



(max:9.71516)

実効屈折率 1.033548051

(C)モード100番目



(max:9.71694)

実効屈折率 1.03354912

(D)モード100番目

図4. 固有伝送モード分布解析結果 (Hx成分)