

2光子吸収下での半導体中の光伝搬シミュレーション

Simulation of beam propagation with two-photon absorption in semiconductor materials

千葉大院・融合 ○(M1)李 修平,坂東 弘之,篠崎 智文,大石 真樹,松末 俊夫

Chiba Univ., ○(M1)Syuhei Lee, Hiroyuki Bando, Tomohisa Shinozaki, Masaki Oishi, Toshio Matsusue

E-mail: syuhei_lee@chiba-u.jp

背景と目的

広波長域にて偏光無依存な、1 ps 以下の超高速応答を有する全光スイッチの実現のために2光子吸収の利用を検討している[1-3]。

当研究室では、2光子吸収が生じた場合の試料中での光の伝搬を、我々の伝搬モデルにて解析的な解を導出し、実際の測定結果から試料の2光子吸収係数 β を算出してきた[4]。しかし、このモデルの仮定条件の妥当性に不明確性があった。

そこで今回、2光子吸収が生じた場合の半導体試料中でのガウスビーム伝搬について、COMSOL Multiphysicsにてシミュレーションを行い、その結果と我々のモデルおよび解析式の結果とを比較・検討を行った。

光強度密度 I の減衰式

$$\frac{dI(z)}{dz} = -\alpha I(z) - \beta I(z)^2$$

I [W/m²]: 光強度密度
 z [m]: 伝搬距離
 α [m⁻¹]: 1光子吸収係数
 β [m/W]: 2光子吸収係数

モデルの解析式

$$\frac{1}{T} = \frac{P_{in}}{P_{out}} = \frac{\beta n_0 n_1}{\lambda_0 T_2} \left\{ \text{Arctan} \left(\frac{z + \frac{L}{2n_1}}{z_0} \right) - \text{Arctan} \left(\frac{z - \frac{L}{2n_1}}{z_0} \right) \right\} P_{in} + \frac{1}{T_1 T_2}$$

2光子吸収効率 η

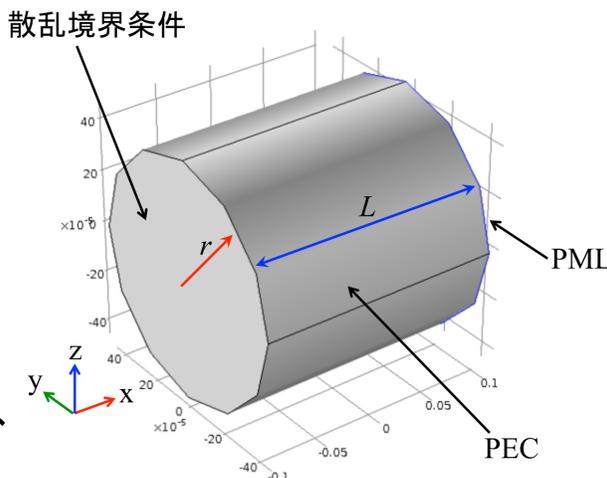
n_0 : 試料外の屈折率 n_1 : 試料の屈折率
 λ_0 [m]: 真空中の波長 L [m]: 試料長
 P_{in} [W]: 入射光パワー P_{out} [W]: 出射光パワー
 T_1 : 入射面での透過率 T_2 : 出射面での透過率
 z : ビームウエスト位置 z_0 : レーリー長

実験方法

- 使用モジュール: Wave optics module
- 入射光: ガウスビーム
- 2光子吸収: 屈折率の虚部に以下の非線形効果を導入

屈折率(虚部): $\kappa = \frac{c_0}{2\omega} \beta I$

- 入射光パワー(P_{IN})を変化させ、それぞれの透過率を算出
- 集光位置(ビームウエスト位置; x_1)を変え、2光子吸収効率 η を求めた



波長 $\lambda_0 = 1640$ [nm]

ビームウエスト半径 $w_0 = 2.5$ [μm]

複素屈折率 $\tilde{n} = n_0 - i\kappa$

屈折率 $n_0 = 3.14$

試料内でのレーリー長 $z_0 = 37.6$ [μm]

試料長 $L = 150.38$ [μm] ($= 4 \times z_0$)

試料半径 $r = 21.651$ [μm] ($= 5 \times w(L/2)$)

$P_{IN} = 0.01, 5, 50, 100, 150, 200$ [W]

$\beta = 25$ [cm/GW]

結果および考察

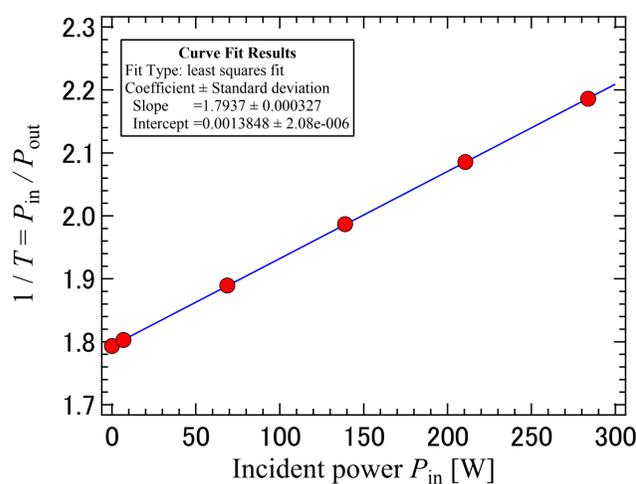


Fig. 1. $1/T$ の入射光強度依存性 ($x_1 = 0$ [μm])

解析式を用いて、傾きから β を算出 ($= 23.9$ [cm/GW])

設定値(25 [cm/GW])と概ね一致

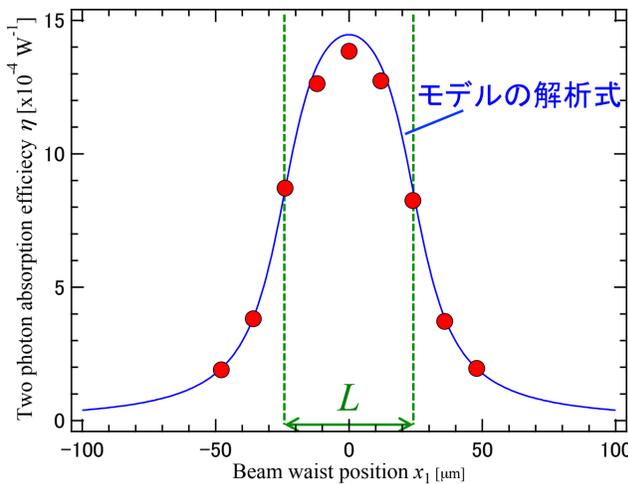


Fig. 2. η のビームウエスト位置依存性

我々の解析式と概ね一致

我々の解析式が適用できている

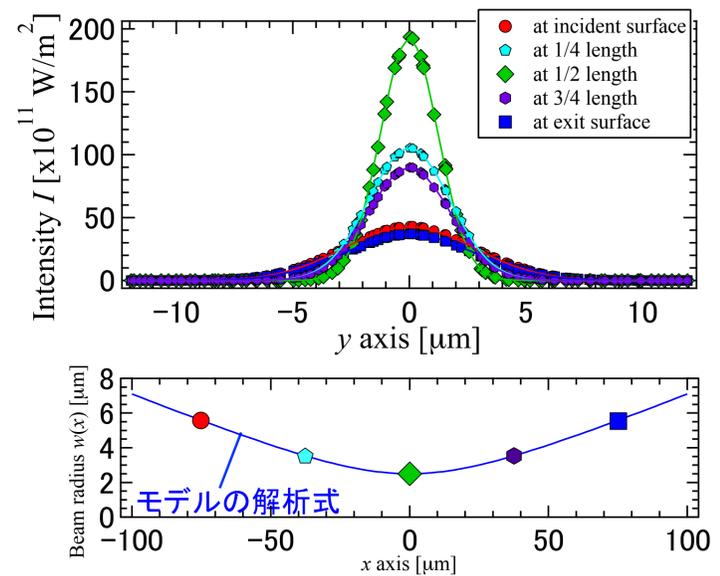


Fig 3. 伝搬によるビーム形状の変化 ($x_1 = 0$ [μm])

吸収がない場合のガウスビームのビーム半径の変化と一致(誤差範囲内)

我々の伝搬モデルの仮定と一致

まとめ

- 2光子吸収をシミュレーションすることができた。
- 設定した β と、シミュレーション結果から算出した β がほぼ一致した。
- シミュレーションから求めた η は、我々の伝搬モデルの解析式から求めた値概ねと一致した。
- 2光子吸収が生じた場合でも、我々の伝搬モデルの仮定と同じく、試料内での光強度密度は誤差の範囲内でガウス分布となっていることがわかった。
- 我々の伝搬モデルの仮定は、概ね正しいと考えられる。

【謝辞】本研究の一部は、科研費(23560358)の助成を受けて行われた。

[1]高橋 他, 第52回春季応物 30p-ZM-2, (2005). [2]H. Bando et al., MBE2006 Wep-15, (2006).

[3]T. Matsusue et al., Physica Status Solidi C8, 387, (2011). [4]篠崎 他, 第74回秋期応物 16a-P2-3, (2013).