

境界要素法による半導体表面のレーザー誘起周期的ナノ構造化の解析 Analysis of laser induced periodic semiconductor's surface structure by boundary element method

岡本 健太郎¹, 富岡 智¹, 佐々木 浩一¹, 西山 修輔¹
Kentaro Okamoto¹, Satoshi Tomioka¹, Koichi Sasaki¹, Shusuke Nishiyama¹

北大工¹
Hokkaido Univ.¹

[研究背景・目的]

高出力のパルスレーザーを、金属や半導体などに照射すると、その表面に周期的に突起ができることが知られている。この現象が起こるメカニズムに関して様々なモデルが提案されており、未だにはっきりとした説明はできていない。本研究では、レーザー照射により半導体表面に量子ドットが周期的にできる原因について境界要素法による電磁界解析を通して調べることを目的とする。

[解析方法]

三媒質を含む系について、ヘルムホルツ方程式($\nabla^2 H_z + k^2 H_z = 0$)を、磁場の接線成分の連続性および磁束密度の法線成分の連続性を境界条件として、線形要素を採用した境界要素法により解いた。

解析モデルを図1に示す。自由空間中に半無限のSi基板に、自由空間側から波長 λ のレーザー光を入射する。Si基板(4.140-0.045j)には、散乱体として同じ材質の無限に長い三角柱の突起(底辺 0.2λ 、高さ 0.05λ)を配置し、その周辺に入射レーザーの電界集中により加熱生成された半円柱(半径 0.2λ)状のプラズマ(屈折率 0.5)ができている場合を考える。z方向には均質なので二次元問題として扱うことができる。x方向については、遠方からの放射が十分小さくなる位置まで境界を延ばし(幅 50λ)、無限に広い境界を代用した。比較のために、プラズマが無い場合、さらに突起もない場合について解析した。

[結果・考察]

図2にTM波(P波)を入射させた場合の境界座標に対する磁場強度の計算結果を示す。(a)Flat surfaceは境界上に何も突起を作らない平らな境界の場合、(b)Triangular swelling without plasmaは、境界に三角柱の突起を作った場合、(c)Triangular swelling with plasmaはプラズマをその突起に被せた場合である。(b)と(c)どちらの場合も境界上で、(a)の磁場強度(Flat surface)を中心として振動していることが分かる。そのピーク間隔(Λ)は約 λ となっており、これは、実験結果[1]と一致する。また、振幅については、振動成分と一定成分の比は、第

1ピークで評価すると、(b)および(c)はそれぞれ、約2.8%、約4.8%となり、プラズマを被せた方が約2%だけ強くなる。いずれの場合も、ピーク間隔については、突起により散乱して境界に沿って伝搬していく波と上から来る入射光とが干渉するため、間隔が波長と同程度となると考えられる。一方、強度については、プラズマがある(c)の場合は、プラズマが凹レンズの効果により、横に散乱する波の割合が増え、その結果、境界上の磁場は強くなる。

以上より、基板上に散乱体が存在すれば、基板に平行方向に定在波ができ、その強い部分で基板が解け周期的な量子ドットが形成されると考えられる。さらに散乱体表面でプラズマが生成されていれば、このプロセスが促進されると予想される。

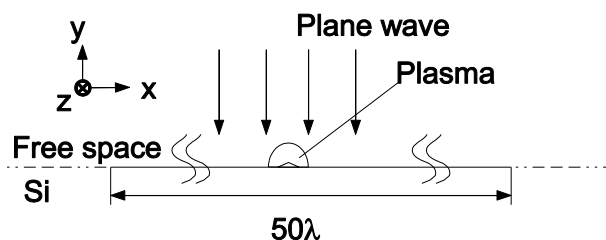


図1. 解析モデル

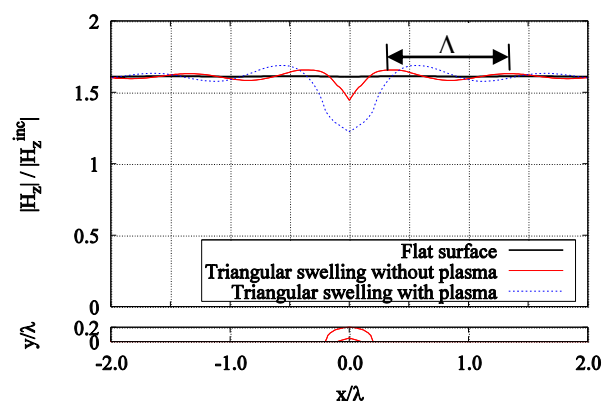


図2. 境界座標に対する磁場強度

[参考文献]

[1] A.E. Siegman, "Simulated Wood's Anomalies on Laser-Illuminated Surfaces", *IEEE J. Quantum Electronics*, QE-22, 1384-1403, 1986.