

ナノサイズのレーザ照射痕によるシリコン表面の反射抑制

坂手 俊介
Shunsuke SAKATE
電子情報学科 4年

1. はじめに

私は、2019年9月18～21日に北海道大学札幌キャンパスで開催された、「2019 応用物理学会秋季学術講演」に参加し、19日に「ナノサイズのレーザ照射痕によるシリコン表面の反射抑制 (Reduction of the Silicon Surface Reflectance by Laser-Induced Nanoholes)」という題目でポスター発表を行った。

2. 背景

半導体表面の微細加工による光閉じ込め効果や、反射抑制による太陽電池の光吸収効率やLEDの発光特性などの向上の研究が行われている。強力なパルスレーザを金属の表面などに照射すると、瞬間的に蒸発や爆発が起こるレーザアブレーションと呼ばれるものが起こる。本研究ではこのレーザアブレーションを用いて表面の加工を行い、その光学特性を調べる。

3. 実験方法

レーザパルスを焦点から外してシリコン (Si) 板に照射しアルカリエッチングを行うと、Fig. 1の(a), (b)に示すようなナノメートルサイズのアブレーション痕や六角形の孔が形成される。本研究では $0.2\ \mu\text{m}$ のピッチでレーザ(波長 $532\ \text{nm}$, パルス

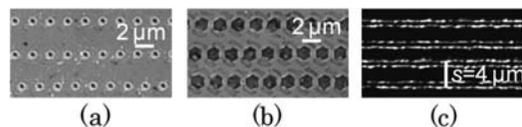


Fig. 1 (a) ナノサイズの孔と (b) Si の (111) 面にレーザアブレーションをした後、アルカリエッチングによって形成された六角形孔. (c) 孔が連続した線状のアブレーション痕.

幅 $5500\ \text{ps}$, $8800\ \text{パルス/s}$)を照射し、Fig. 1 (c)のように孔が連続した線状のアブレーション痕を形成して、赤外域の透過特性を調べた。

4. 実験結果

4.1 角度による透過率変化

無偏光の赤外線を様々な角度 θ でSi板(厚さ $0.7\ \text{mm}$)に入射させると、Fig. 2のように短波長域では線の周期 s が小さいほど強い散乱が生じたが、 $6\ \mu\text{m}$ 以上の波長域ではアブレーションを行う前(灰色線)より高い透過率が得られた。透過率が高くなる波長は入射角によって変化し、散乱の強い $2\sim 6\ \mu\text{m}$ 帯にもピークが現れた。

4.2 偏光による変化とシミュレーション結果

透過率変化の原因を調べるため、直線偏光の赤外線で測定を行うと、Fig. 3のように線に垂直な偏光では透過スペクトルに振動が見られたが、平行な偏光では見られなかった。このことから、周期性を持つグレーティング構造において電子が関与する表面プラズモン現象が起こっていると推定される。Fig. 3 (a)のようにSi板を線の方向を軸として傾けると、ピークが2つに割れて移動した(矢印)。一方、Fig. 3 (b)のように線に垂直な軸で傾けたときは、光の進行方向から見た間隔 s に変化はないので、ピーク移動は見られなかった。Fig. 3 (c)は、Si表面で光線AとCがBと干渉するモデルである。Si表面での実効屈折率を n_{eff} とすると、光路差は

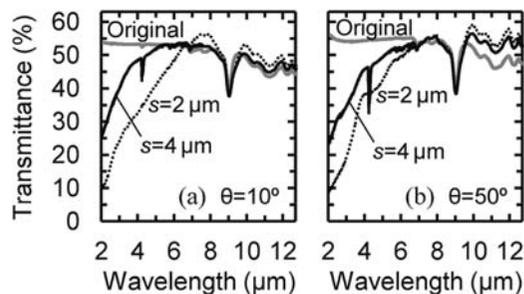


Fig. 2 (a) 10° , (b) 50° 傾けた時の Si 板の赤外線透過率.

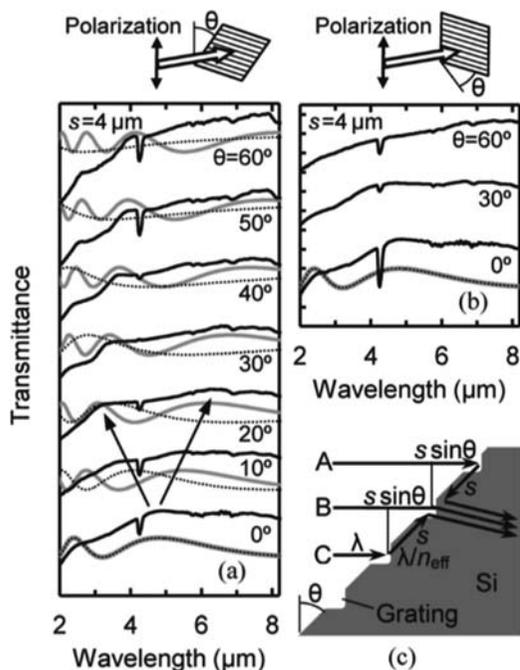


Fig. 3 Si 板を (a) 線の方向を軸, または (b) 線に垂直な軸で傾けた時の角度による透過率変化. (c) 光線の干渉モデル.

$s(n_{\text{eff}} \pm \sin\theta)$ となるので, $s = 4 \mu\text{m}$, $n_{\text{eff}} = 1.2$ と仮定してスペクトルの振動を計算すると, Fig. 3 (a) の灰色線と点線のように実験値 (黒線) と似たピーク移動が見られた.

5. まとめ

線状のアブレーション痕の線に垂直な偏光で測定すると, 表面プラズモンにより透過スペクトルにピークが現れることが分かった. また, ピークの移動は角度と傾ける向きが依存しており, シミュレーション結果により干渉によって強め合っている波長を求めることができた.

6. おわりに

今回初めて学会に参加したが, 様々な分野の参加者の方の質問や意見をいただくことができ, 非常に良い経験ができた.

今回の発表を行うにあたり, 懇切なご指導をいただいた斎藤光徳教授をはじめ, 斎藤研究室の皆様がこの場を借りて厚く御礼申し上げます.