

フェムト秒レーザー照射によるシリコンへの表面プラズモン ポラリトン励起の実証

Evidence of Surface Plasmon Polaritons on Si excited with a Femtosecond Laser Pulse

○萩谷 将人、宮地 悟代 (東京農工大)

°Masato Hagiya, Godai Miyaji (Tokyo Univ. of Agriculture and Technology)

E-mail: 50015644019@st.tuat.ac.jp

はじめに: 低フルーエンスのフェムト秒 (fs) レーザーを固体表面に複数パルス重ねて照射すると、レーザー波長よりも小さい周期サイズ (最小~10 nm) のナノ周期構造がアブレーションによって形成される。これまでにその周期性の起源は、fs レーザーにより励起された表面プラズモンポラリトン (SPP) であると結論づけ[1,2]、その空間分布の制御を試みた結果、均一で直線性の良いナノ格子を形成した[3]。励起された SPP を実験により初めて直接観測するため、回折格子を有する Si ターゲットを設計・準備し、その表面に fs レーザーを照射して反射率の角度依存性を調べた。

実験と結果: これまでの実験研究によって、fs レーザーにより Si がアブレーションするとき、電子密度は $N_e \sim 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ であることを示している[2]。fs レーザー照射によって入射角 $\theta = 25^\circ$ で SPP が励起されるよう、図 1(a)に示すように、周期間隔 $\Lambda = 1300 \text{ nm}$ の Si 製回折格子を準備し、ターゲットとした。その表面に、Ti:sapphire レーザーシステムから出力される直線偏光 (p 偏光または s 偏光) の fs レーザーパルス (100 fs、800 nm、10 Hz) を入射角 θ で照射し、反射光の強度を CCD カメラで測定した。実験結果を図 1(b)と(c)に示す。ここで、同図には厳密結合波解析法を用いて計算した $N_e = 0.8 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ の Si 回折格子の反射率を併せて示す。図 1(b)に示すように、Si の単一パルスアブレーションしきい値 ($F_{th} = 400 \text{ mJ/cm}^2$) 以下のフルーエンス $F = 40 \text{ mJ/cm}^2$ では、反射率は θ で単調に変化するだけである。一方、 $F = 600 \text{ mJ/cm}^2 > F_{th}$ では、図 1(c)に見られるように、 p 偏光の $\theta = 25^\circ$ で反射率が減少し (すなわちディップが観測され)、その変化は計算結果とほぼ一致している。これは、 p 偏光の高強度 fs レーザーによって SPP が励起されたことをよく示している。さらに詳しく角度依存性を調べるとともに、電子顕微鏡による表面形状観察結果とも比較することにより、SPP の励起過程について議論する。

図 1(a)に示すように、周期間隔 $\Lambda = 1300 \text{ nm}$ の Si 製回折格子を準備し、ターゲットとした。その表面に、Ti:sapphire レーザーシステムから出力される直線偏光 (p 偏光または s 偏光) の fs レーザーパルス (100 fs、800 nm、10 Hz) を入射角 θ で照射し、反射光の強度を CCD カメラで測定した。実験結果を図 1(b)と(c)に示す。ここで、同図には厳密結合波解析法を用いて計算した $N_e = 0.8 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ の Si 回折格子の反射率を併せて示す。図 1(b)に示すように、Si の単一パルスアブレーションしきい値 ($F_{th} = 400 \text{ mJ/cm}^2$) 以下のフルーエンス $F = 40 \text{ mJ/cm}^2$ では、反射率は θ で単調に変化するだけである。一方、 $F = 600 \text{ mJ/cm}^2 > F_{th}$ では、図 1(c)に見られるように、 p 偏光の $\theta = 25^\circ$ で反射率が減少し (すなわちディップが観測され)、その変化は計算結果とほぼ一致している。これは、 p 偏光の高強度 fs レーザーによって SPP が励起されたことをよく示している。さらに詳しく角度依存性を調べるとともに、電子顕微鏡による表面形状観察結果とも比較することにより、SPP の励起過程について議論する。

[1] G. Miyaji and K. Miyazaki, Opt. Express **16**, 16265 (2008).

[2] G. Miyaji, K. Miyazaki *et al.*, Opt. Express **20**, 14848 (2012).

[3] K. Miyazaki and G. Miyaji: J. Appl. Phys. **114**, 153108 (2013).

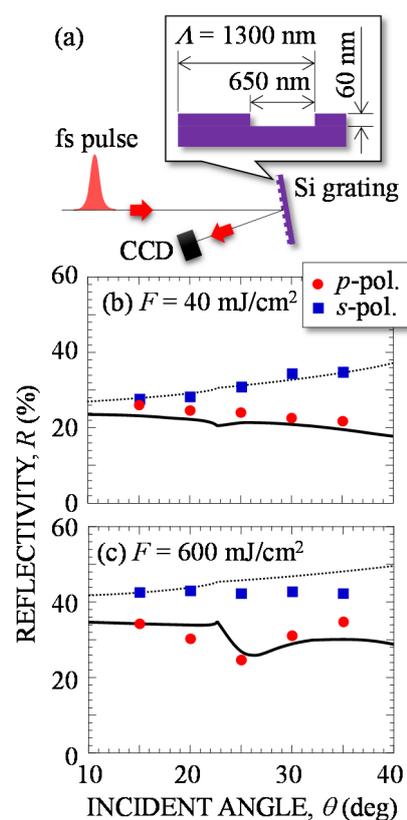


Fig. 1. (a) schematic drawing of the optical configuration for the reflectivity measurement, and reflectivity measured with a single fs laser pulse as a function of the incident angle for (b) $F = 40 \text{ mJ/cm}^2$ and (c) $F = 600 \text{ mJ/cm}^2$. The curves denote the calculated results for the Si gratings with $N_e = 0.8 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$.