

## 超短パルスレーザーによる単結晶シリコンの内部加工

### Direct micromachining inside c-Si by using femtosecond laser

京大院工<sup>1</sup>, 京大産連本部<sup>2</sup> ○森 全弘<sup>1</sup>・下間靖彦<sup>1</sup>・坂倉政明<sup>2</sup>・三浦清貴<sup>1</sup>

Kyoto Univ.<sup>1</sup>, Kyoto Univ. Saci<sup>2</sup> ○Masahiro Mori<sup>1</sup>, Yasuhiko Shimotsuma<sup>1</sup>,

Masaaki Sakakura<sup>2</sup>, Kiyotaka Miura<sup>1</sup>

E-mail: m.mori@func.mc.kyoto-u.ac.jp

#### 【緒言】

単結晶シリコン(c-Si)は集積回路や太陽電池、MEMS 等において非常に重要な位置を占める材料であり、近年特に、ナノ構造を形成させることによる熱電材料への応用研究が盛んである。一方で、我々は、これまでに SiO<sub>2</sub> ガラス等[1]の透明絶縁体をはじめとして、ZnO [2]や GaN [3]などの直接遷移型の透明半導体材料を対象に、フェムト秒レーザーによる材料内部の局所的な相互作用に関する研究を行ってきた。本研究では、単光子吸収されない波長(1.24 μm)の超短パルスレーザー光を光源として、間接遷移型の半導体であるc-Siの内部に集光照射し、局所的な構造変化およびそのメカニズムを調査した。c-Si 内部の集光部近傍に、照射レーザー光の偏光方向に依存した方向に結晶性がナノスケールの周期で低下したナノ周期構造が形成することを発見したので報告する。

#### 【実験】

c-Si 内部に対物レンズ(100 倍、NA 0.85)を通してフェムト秒レーザー光(波長 1240 nm、繰り返し周波数 1 kHz)を集光照射し、内部領域のみに構造変化を誘起させた。照射エネルギーを 80 μJとしたシングルパルス列の集光照射では、内部の構造変化は確認できなかった。c-Si のキャリア寿命は一般に長い(μs 程度)ことが知られているため、第一パルスで光励起後、第二パルスでプラズマ電子との相互作用を増幅させることを目的に、ダブルパルス列での照射を行った。さらに、ダブルパルス列の遅延時間及び偏光を変化させて構造変化との関係性を明らかにした。

#### 【結果及び考察】

ダブルパルス列の照射により、集光部に幅約 110 nm、周期間隔 220 nm 程度の結晶性が低下した領域が周期的に形成することを初めて見出した(Fig. 1)。第一パルスでは電子が励起され、プラズマが発生する。そこに第二パルスが到達することにより、逆制動放射過程を経て電子励起が雪崩的に急激に増加したと考えられる。ダブルパルス間の遅延時間が約 40 ps を超えると構造変化部が小さくなったが、これは第一パルスにより励起されたプラズマ電子密度が臨界密度から低下し、第二パルスを十分に吸収できなくなったためと考える。遅延時間を 800 ps としてもサイズに大きな変化は見られず、キャリア寿命が長いことに関係すると考えられる。特に、ナノ周期構造の形成方向は、第二パルスの偏光方向に依存せず、第一パルスに平行な方向に形成した。これは、励起されたプラズマ電子密度の不均一性に由来するものと考えられる。

[1] Y. Shimotsuma et al., Phys. Rev. Lett. 91 (2003) 247405.

[2] 石川ら, 第 71 回応用物理学関係連合講演会 15a-L-9 (2010).

[3] 森ら, 第 73 回応用物理学関係連合講演会 12a-B2-1 (2012).

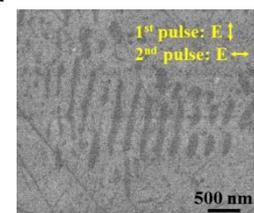


Fig. 1 Photoinduced periodic nanostructure inside c-Si