

単結晶内部の亀裂や転位バンドに影響を受ける フェムト秒レーザー誘起構造変化の時間分解観測

Time-resolved study of the influence of cracks and dislocation bands on
femtosecond laser induced structural changes inside a single crystal

京大院工¹, 京大産連² ○岡田拓郎¹, 坂倉政明², 下間靖彦¹, 福田直晃², 三浦清貴¹

Kyoto Univ.¹, Kyoto Univ.SACI² ○Okada Takuro¹, Masaaki Sakakura², Yasuhiko Shimotsuma¹, Naoaki
Fukuda², Kiyotaka Miura¹

E-mail: t.okada@func.mc.kyoto-u.ac.jp

[はじめに] 結晶は規則的な原子配列を持つため、外力を加えたときに特定の方位と面に対してへき開や転位などの方向性のある構造変化が形成されやすい。単結晶内部へのフェムト秒レーザー集光照射によっても、集光部を起点として亀裂と転位が特定の方向に形成される。例えば、岩塩型結晶構造を有するフッ化リチウム(LiF)単結晶内部に(001)面に垂直な方向からフェムト秒レーザーパルスを集光照射すると、 $\langle 100 \rangle$ 方向に4つの亀裂が、 $\langle 110 \rangle$ 方向に転位が高密度に集中した4つの転位バンドが形成される[1][2]。しかし、亀裂や転位バンドが均等に形成されるのは亀裂や転位バンドが集光領域の周囲に存在しない場合のみであり、転位バンド近傍に集光照射した場合、特定の方向への亀裂が生じなくなる。一般的なパルスレーザー加工では、逐次的にレーザーを照射するため、照射前から存在する亀裂や転位バンドの影響を無視することができない。したがって、均一な加工を実現するためにはあらかじめ存在する亀裂や転位バンドによる影響を理解することが必要となる。我々は、空間光変調器を用いて再現性の高い逐次照射を可能にする時間分解観測システムを開発した。本研究ではそのシステムを用いて、LiF単結晶内部にあらかじめ亀裂や転位バンドが存在する状況でのフェムト秒レーザー誘起構造変化の時間分解観測を行うことで、亀裂と転位バンドが構造変化に及ぼす影響をダイナミクスの観点から調べ、そのメカニズムを議論した。

[実験] 波長800 nm、パルス幅120 fsのレーザーパルス(Pump光)を、NA=0.80、50倍の対物レンズを用いてLiF(001)単結晶内部に集光照射した。このとき、空間光変調器の位相ホログラムを切り替えることで異なる位置に逐次照射し、1回目の照射によってあらかじめ形成した亀裂と転位バンドの近傍に、2回目の照射の構造変化を誘起した。時間分解観測では、Pump光の反対方向から光学遅延させたProbe光を集光領域に透過させて、透過像をCCDカメラにより観測した。このとき、複数の偏光条件で観測した透過像を解析することにより試料内部に生じた複屈折分布を得た[2]。

[結果と考察] 1回目の照射点から $[\bar{1}\bar{1}0]$ 方向へ、15 μm から35 μm だけ離れた位置に2回目の集光点を形成した。照射の位置間隔が15 μm のときの、2点目照射後1 ns、2 nsにおける透過像を図(a)に示す。図に示すように、応力波が1回目の照射による亀裂に到達した後、亀裂が不明瞭になる現象を観測した。一方、照射の位置間隔を大きくしたところこのような現象は見られなくなったため、この現象は高強度の応力波が亀裂を圧縮し、局所的に亀裂が閉じたことによるものと考えられる。照射の位置間隔が35 μm のときの、2点目照射後7 ns、9 nsにおける複屈折解析像をそれぞれ図(b)、(c)に示す。複屈折の方位を色で、位相差を明るさで表した。この複屈折解析像において、図中の矢印で示した位置に、1点のみ照射した場合の応力波では観測されない伝播波が見られた。1点目による亀裂付近から発生する様子が観測されたため、これは亀裂の界面によって反射された応力波であると考えられる。以上のように、照射前から生じた亀裂が過渡応力分布に様々な変化を及ぼすことが明らかになった。現在、転位バンドの進展によって亀裂が阻害される場合について観測を行っており、講演会では応力分布の変調と亀裂阻害のメカニズムについても議論する。

[1]M.Sakakura et al., Opt. Express, 19, 17780 (2011)

[2]T.Tochio, et al. Jpn. J. App. Phys. 51, 126602 (2012)

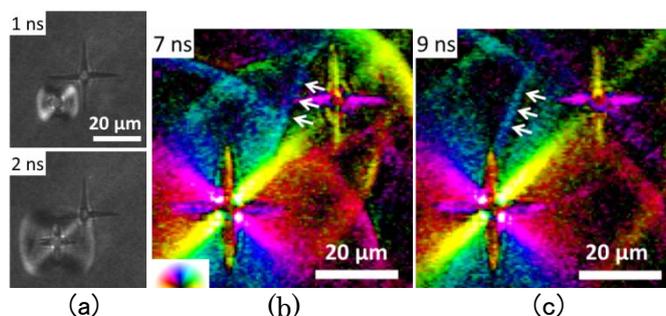


Fig: (a)Transmission images of crack shape change by a stress wave (b)Birefringent distribution at 7ns and (c)9ns after laser irradiation at the second point