

多点同時フェムト秒レーザー照射による単結晶内部の 過渡応力分布の変調と亀裂進展への影響

Modulation of transient stress distributions and crack formation by parallel photoexcitation at multiple spots inside a LiF single crystal

京大産連本部¹, 京大工², 京大院工³ ○坂倉 政明¹, 岡田 拓郎², 福田 直晃¹, 下間 靖彦³,
三浦 清貴³

Kyoto Univ. SACI¹, Kyoto Univ.^{2,3} ○Masaaki Sakakura¹, Takuro Okada², Naoaki Fukuda¹, Yasuhiko Shimotsuma³, Kiyotaka Miura³

E-mail: msakakura@saci.kyoto-u.ac.jp

(背景) 脆性材料に衝撃を与えると亀裂が生じる。我々は、フェムト秒(fs)レーザーを集光することによって生じる衝撃を利用して、単結晶内部での亀裂発生メカニズムを解明する研究を行ってきた[i]。最近、岩塩型結晶構造であるフッ化リチウム(LiF)単結晶内部の複数の点に同時に fs レーザーを集光照射することで、特定の位置の亀裂が約 2 倍に伸長することを見出した(図 1)[ii]。これまで、亀裂伸長の原因が応力波干渉によると解釈していたが、今回、亀裂進展過程と過渡複屈折分布の時間分解観測により亀裂伸長の原因を見出したので報告する。

(実験) 空間光変調器を用いて空間位相変調した fs レーザーパルス(パルス幅 120 fs, 波長 800 nm)を 50 倍(NA=0.80)の対物レンズで集光し、LiF 単結晶内部の 3 点を同時に光励起した(図 1)。亀裂進展過程の時間分解観測では、光学遅延した fs レーザーパルスの 2 倍波を光励起領域に透過させ、透過像を CCD カメラによって観察した。

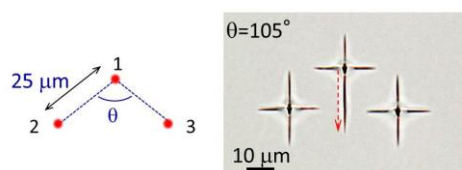


図 1: 多点同時フェムト秒レーザー集光照射によって生じた LiF 単結晶内部のクラックの透過顕微鏡像。

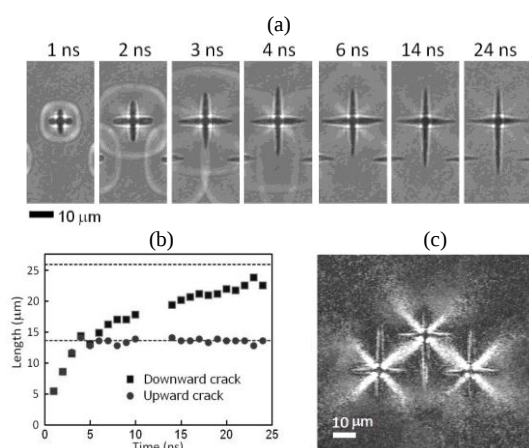


図 2: (a) 図 1 の照射点 1 から発生する亀裂の進展過程。 (b) (a) の上方向と下方向の亀裂の長さの時間変化。 (c) 光励起後 20 ナノ秒での複屈折分布。明るさが複屈折の大きさを示す。

(結果) 観測した亀裂進展過程を図 2(a)に示す。上方向と下方向の亀裂は 4 ナノ秒まで同じ速度で進展するが、下方向の亀裂のみが 6 ナノ秒以降にも進展することが分かった(図 2(b))。4 ナノ秒までの亀裂の進展速度が結晶内部の音速とほぼ同じであることから、応力波によって亀裂進展が駆動されと考えられる。一方、6 ナノ秒以降の進展速度は音速のおよそ 1/10 であるため、応力波以外に亀裂進展の原因があると考えられる。応力波の影響がなくなった時刻(20 ナノ秒)での複屈折分布を観測すると(図 2(c))、遅い進展が見られない亀裂の周囲には複屈折が生じたのに対して、遅い進展をした亀裂の周囲の複屈折が非常に小さいことが明らかになった。この違いから、遅い進展が見られない亀裂では、周囲から進展を妨げる応力がかかっているのに対して、遅い進展のある亀裂の周囲では、周囲の亀裂や転位欠陥によって進展を妨げる応力がなくなったと考えられる。

[i] T. Tochio et al., Jpn. J. Appl. Phys. **51**, 126602 (2012); M. Sakakura et al., Opt. Express **19**, 17780-17789 (2011).

[ii] M. Sakakura et al., Opt. Express **21**, 26921-26928 (2013).