

多点同時レーザー照射による LiF 単結晶内部のクラック発生の変調

Modulation of crack formation inside a LiF single crystal by parallel laser irradiation

京大産連本部¹, 京大院工² ○坂倉 政明¹, 石黒 佑季², 福田 直晃¹, 下間 靖彦², 三浦 清貴²

Kyoto Univ. SACI¹, Kyoto Univ.² ○Masaaki Sakakura¹, Yuki Ishiguro², Naoaki Fukuda², Yasuhiko Shimotsuna¹, Kiyotaka Miura¹

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

(はじめに) 単結晶内部にフェムト秒(fs)レーザーを集光照射すると、結晶の種類と集光方向に依存して光励起領域から特定の方向にクラックが生じる[1,2]。例えば、立方晶であるフッ化リチウム(LiF)単結晶では、(001)面に垂直の方向からの集光により光励起領域から<100>方向に{100}面のクラックが生じ[1]、六方晶であるサファイヤ単結晶では、(11 $\bar{2}$ 0)面に垂直の方向からの集光により{1 $\bar{1}$ 02}面と{1 $\bar{1}$ 00}面のクラックが生じる[2]。レーザー誘起クラックを利用すれば単結晶を効率よく切断することができると期待されるが、不要なクラックの抑制や、必要なクラックのみを伸長する制御方法が不可欠である。我々は、単結晶内部のクラックがレーザー誘起応力波によって生じるという知見[1]に基づいて、多点同時レーザー照射での応力波干渉によるクラック発生制御法を探索してきた。以前の報告[3]で、LiF 単結晶内部の 3 点同時照射によって特定のクラックの長さが集光点分布に依存して伸長や抑制されることを見出し、応力波干渉によってそのメカニズムを解釈した。今回、応力波干渉によるクラック伸長の影響を検証するために、クラック伸長の集光点間距離とパルスエネルギーに対する依存を調べた。

(実験方法) 波長 800 nm、パルス幅 100 fs の fs レーザーパルスを空間光変調器によって変調した後、50 倍 (NA = 0.80) の対物レンズで LiF 単結晶内部に集光照射し、焦点面で形成された複数の集光スポットで同時に光励起を引き起こした。レーザーパルスの入射方向は結晶の(001)面に垂直で、結晶の[100]方位と底辺が平行である二等辺三角形の 3 つの頂点に集光点を形成した(図 1(a))。各集光点を#1, #2, #3 とし、等辺の距離を r , 頂角を θ とした。

(結果) 図 1(b)に LiF 単結晶内部の 3 点同時 fs レーザー集光照射によって生じたクラックの透過光学顕微鏡像を示す。各点でのパルスエネルギーは約 3 μ J で、1 パルスのみ照射した。 $\theta=75^\circ$ では、頂点(#1)から下向きのクラックが抑制されたのに対して、 $\theta=105^\circ$ では同じ位置のクラックが長くなった。これまで、 $\theta=105^\circ$ で応力波干渉による引張応力がクラックの伸長を引き起こすと解釈したが、集光点間距離 r を長くすると干渉位置での応力が減衰するため、異なる r でのクラック伸長を調べれば、応力波干渉との関係が分かるはずである。そこで、 $\theta=105^\circ$ で異なる r でのクラックの伸長のパルスエネルギー依存を調べた。図 1(c)に伸長したクラックの長さと伸長しないクラックの長さの相関を示す。どの r でもクラックの長さが r の約 0.4 倍以上の場合にクラックの伸長が始まること分かった。 θ が同じであれば応力波干渉による過渡応力分布が相似であることから、伸長し始めるクラックの長さが r に比例するという結果は、クラック伸長の原因が応力波干渉によるという解釈に矛盾しない。講演会では、クラック伸長に必要な条件や $\theta=75^\circ$ の集光点分布でのクラックの抑制についても議論する。

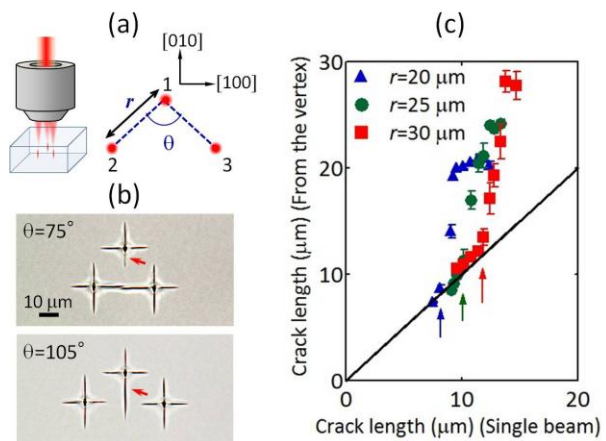


図 1 (a) LiF 単結晶内部の多点同時レーザー照射と集光点分布 (b) LiF 単結晶内部の 3 点同時フェムト秒レーザー照射後のクラックの透過光学顕微鏡像 (c) $\theta=105^\circ$ で伸長したクラックと 1 点照射によるクラックの長さの相関

- [1] M. Sakakura et al., *Opt. Express* **19** (2011) 12136-12143. [2] C. Moon et al., *J. Am. Chem. Soc.* **92** (2009) 3118-3121. [3] M. Sakakura et al., *Optics Express* **21** (2013) 26921-26928; 石黒ら, 第 74 回応用物理学会秋季講演会 17p-A3-4