30p-D2-6

透明単結晶内部のフェムト秒レーザー誘起構造変化の時間分解応力イメージング

Time-resolved stress imaging of femtosecond laser induced structural change inside transparent single crystals

京大産連 [1]，京大院工 [2]　○坂倉 政明 [1]，下間 靖彦 [2]，福田 直晃 [1]，三浦 清貴 [2]

Kyoto Univ. SACI[1], Kyoto Univ. Eng. [2]　°Masaaki Sakakura[1], Yasuhiko Shimotsuma[2], Naoaki Fukuda[1], Kiyotaka Miura[2]

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

[はじめに] 固体のレーザー加工において構造変化のメカニズムを明らかにすることは、加工精度や加工のスループットの向上に有用な情報を与える。メカニズムの研究では、構造変化が光励起領域に限定される場合は、主に光励起過程を調べられるが、構造変化が光励起領域の周辺にまでおよぶ場合は、応力や熱の影響を明らかにする必要がある。特に、単結晶では特定の方向への結晶面の滑りや亀裂など長距離におよぶ構造変化が起こるため、それを誘起すると考えられる熱拡散過程や応力波伝播過程がメカニズムの理解に不可欠である。我々は、時間分解偏光イメージングにより岩塩型単結晶(MgO, LiF など)内部のフェムト秒レーザー誘起構造変化を観測し、レーザー誘起応力波による特定方向への応力集中が結晶に特徴的な構造変化を誘起することを明らかにしてきた[1]。今回の発表では、複屈折分布の解析法の改善と MgO 単結晶と LiF 単結晶内部での光励起後の主応力差の大きさの見積りを行い、二つの単結晶での構造変化の違いの原因について議論する。

[実験]　励起レーザーパルス(パルス幅 100 fs, 波長 800 nm、パルスエネルギー1-10 μJ)を NA=0.9, 50 倍の対物レンズを用いて、MgO 単結晶および LiF 単結晶の内部に(001)面に垂直な方向から集光照射し、集光点付近で光励起を誘起した。同時に光学遅延した円偏光のプローブパルス(パルス幅 100 fs, 波長 400 nm、パルスエネルギー<0.1 μJ)を試料に入射し、同じ対物レンズを透過した後、ダイクロイックミラーを反射、結像レンズ、1/4 波長板、検光子を通った後、CCD カメラに結像した。複屈折分布の解析のために、結像レンズ後の波長板の角度χを変えた複数の像を取得し、同一ピクセル上の光強度のχ依存を結晶中に生じた複屈折によるリターダンスδ_S と方位θ_S を用いてフィッティングをすることで、δ_Sとθ_Sを得た。

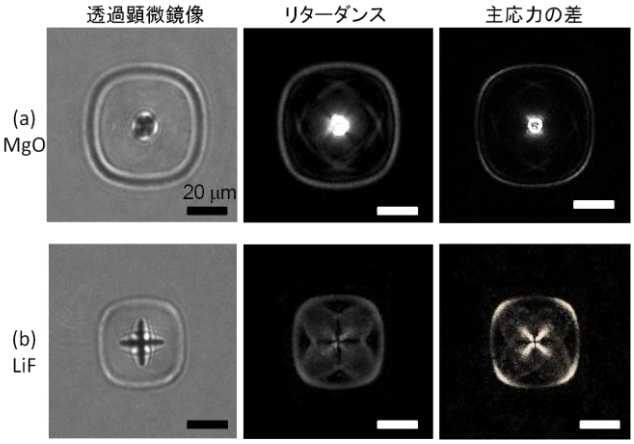

Fig. 1 光励起後 3000 ps での透過顕微鏡像、リターダンス分布、主応力差の分布。パルスエネルギーは 1 μJ。

[結果] Figure 1 に光励起後 3000 ps での時間分解透過顕微鏡像(波長板と検光子がない場合の像)とリターダンスの分布を示す。MgO, LiF ともに応力波が観測され、LiF 単結晶では亀裂発生と亀裂先端を引っ張る応力が観測された。複屈折の分布と光弾性定数から主応力の差を得ると、特定方向への圧縮の大きさが明確になるが、<110>方向への圧縮が最も大きいことが明らかになった。この方向には高密度に転位欠陥が発生していることが分かっており、過渡的な応力集中が<110>方向への結晶面の滑りと転位形成を引き起こしたと考えられる。また、主応力の差と弾性定数から見積もった光励起後 1000 ps での応力の大きさは<110>方向、<100>方向ともに 0.5 GPa-1 GPa であった。この大きさから、光励起直後の熱応力が亀裂や結晶面の滑りを誘起するのに十分に大きいと言える。

[1] T. Tochio et al., JJAP 51 (2012) 126602.

© 2013 年　応用物理学会