超短パルスレーザーによるAlN結晶内部の光加工

Femtosecond laser processing inside AlN single crystal

○松井 克生[1]、清水 雅弘[1]、下間 靖彦[1]、三浦 清貴[1]

Kyoto Univ.[1], ○Katsunari Matsui[1], Masahiro Shimizu[1], Yasuhiko Shimotsuma[1], Kiyotaka Miura[1]

E-mail: k.matsui@func.mc.kyoto-u.ac.jp

【緒言】窒化アルミニウム(AlN)結晶は高耐圧・高周波素子や深紫外発光素子の実現に有望なワイドギャップ半導体材料の一つである。AlN 結晶の育成は、一般的な融液からの単結晶育成は困難であるため、ハイドライド気相成長(HVPE)法、フラックス法、昇華再結晶させる物理気相輸送(PVT)法等が検討されているが、結晶の品質やサイズに関して一長一短がある[1]。これまでに我々は難加工材料である SiC 結晶基板を対象としてフェムト秒レーザーパルスを光源とした光加工について検討し、特にフェムト秒ダブルパルス列(遅延時間 1 ps)による加工において、加工痕のレーザー伝搬方向への伸びが抑制されることを明らかにした[2]。本研究では、フェムト秒レーザーによる AlN 結晶の光加工を目的として、不純物濃度が異なる AlN 結晶内部における光誘起構造を評価した。

【実験】フェムト秒レーザーパルス(波長 800 nm、パルス幅 140 fs, 繰り返し周波数 1 kHz)を対物レンズ(×50, NA0.8)に通して AlN 結晶内部(表面から 300 μm)に集光照射した。波長 800 nm における AlN 結晶の屈折率は 2.17 程度と高いため、LCOS-SLM により球面収差補償を行った。光誘起構造は光学顕微鏡により観察し、照射部近傍の応力分布は偏光顕微鏡により評価した。

【結果と考察】不純物濃度が低い試料 AlN-1(C, O, Si: ~10^{17} atoms/cm^3)と比較的不純物濃度が高い試料 AlN-2(C, O, Si: 10^{18} ~ 10^{19} atoms/cm^3)およびそれらの界面にフェムト秒レーザーを集光照射し、光誘起された構造の光学顕微鏡像を Fig. 1 に示す。フェムト秒レーザーにより光誘起される構造は、非線形光学現象等により、レーザーの伝搬方向に伸長するが、その伸びは AlN-2 の方が長かった。これは AlN-2 内の不純物元素による非線形吸収の影響と考える。また AlN-1 では照射痕にクラックが付随し、界面に照射した際にも AlN-1 のみ優先的にクラックが形成した。AlN-1 および AlN-2 内部の光誘起構造形成に伴う応力分布をクロスニコル像のコントラストにより比較した結果、AlN-1 の方が光誘起構造の周囲に生じた応力が高いことが分かった(Fig. 2)。これは試料中の不純物濃度が試料の熱膨張性に寄与し、その結果レーザー照射後に形成される集光部近傍の急峻な温度勾配下において試料中に加わる熱応力が変化したことで、一方にはクラックが形成したと考えられる。一方で AlN-2 は N サイトを置換する不純物 C 原子が深いアクセプタ準位を形成し、約 260 nm を中心とする吸収が増大したにもかかわらず、AlN-1 の方が黒色変化の度合いが高かった [Fig.1(a, b)、Fig.2(a, b)]。レーザー照射中におけるレーザー光の吸収は、ほぼ同じであることから、多光子吸収以外の効果が考えられるが、過渡吸収測定等の詳細な測定が必要である。

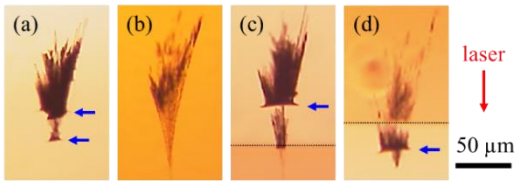

Fig. 1 光誘起構造の断面方向から観察した光学顕微鏡像。(a) AlN-1, (b)AlN-2, (c)AlN-1/AlN-2界面, (d) AlN-2/AlN-1界面。(c) (d)中の点線は界面を示す。青矢印はクラックを示す。

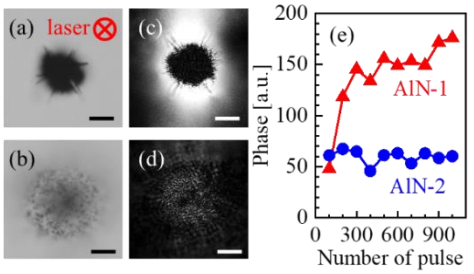

Fig. 2光誘起構造の光学顕微鏡像およびクロスニコル像((a, c) AlN-1、(b, d) AlN-2)。(e) 照射パルス数に対するクロスニコル像のコントラスト変化。スケールバーは20 μm。

【結言】
不純物濃度が異なる AlN 結晶の内部にフェムト秒レーザーを集光照射し、光誘起される構造の違いを評価した。不純物濃度に応じて非線形光学現象が影響されて光誘起構造が変化した。特に、不純物濃度が低い結晶においてクラックが優先的に発生した。このようなフェムト秒レーザーによる光誘起構造は、レーザースライスなどの光加工への応用が期待される。

【参考文献】
[1] T. Nagashima et al., Appl. Phys. Express 5 (2012) 125501.
[2] E. Kim et al., Opt. Mater. Express 7 (2017) 2450.

© 2018年 応用物理学会