

溝加工が施されたサファイアウエハのレーザ切断に関する研究

著者	松永 隆秀, 上田 隆司, 古本 達明, 細川 晃, 長友 正平
著者別表示	Matsunaga Takahide, Ueda Takashi, Furumoto Tatsuaki, Hosokawa Akira, Nagatomo Syohei
雑誌名	精密工学会学術講演会講演論文集
巻	2013 Spring
号	146
ページ	589-590
発行年	2013
URL	http://doi.org/10.24517/00050330

doi: 10.11522/pscjspe.2013S.0.589.0



溝加工が施されたサファイアウエハのレーザー割断に関する研究

金沢大学大学院 ○松永隆秀, 上田隆司, 古本達明, 細川晃
(株) 三星ダイヤモンド工業 長友正平

Study on Laser Cleaving of Sapphire Wafer with Groove
Kanazawa University Takahide MATSUNAGA, Takashi UEDA, Tatsuaki FURUMOTO
Akira HOSOKAWA
Mitsubishi Diamond Industrial Co.,Ltd Syohei NAGATOMO

Laser cleaving is a prospective technique for separating a wafer or a thin palate of brittle materials such as glasses and ceramics. In laser cleaving, initial crack is necessary for crack propagation theoretically. In this study, the fabrication of a groove at the surface of sapphire wafer by a pulsed laser beam is proposed as an initial crack for the laser cleaving. The influences of laser condition and specimen size on cleaving characteristics are investigated. The cleaved surface is evaluated by the measurement of surface roughness with a 3D surface profiling system. As a result, the trace of groove on the specimen by CO₂ laser beam irradiation made it possible to cleave the sapphire wafer. The specimen with the width of 0.5 mm was cleaved without any thermal damage.

1. 緒言

サファイアは、高硬度かつ高熱伝導の材料であり、可視光に対する優れた光透過性を有している。そのため、近年ではLEDチップの基板などの用途に適用されている。

硬脆材料を分断する加工法としてレーザー割断がある。レーザー照射により生じた熱応力を利用し亀裂を進展させる加工法であり、加工液・消耗工具・切り代が不要といった特長を持つ。レーザー割断は原理上、亀裂進展の起点となる初期亀裂が必要となるが、本研究では、初期亀裂の代替としてレーザー加工によって試料表面に導入された溝を用いる。溝加工が施された様々なサイズのサファイアウエハを実験対象として、CO₂レーザーを使用して割断加工を行った。得られた割断面の評価を行うと共に、溝加工が施されたサファイアウエハに対するレーザー割断加工の有用性について検討したので、以下に報告する。

2. レーザ割断の原理

レーザー割断は予め形成したき裂の先端に熱応力を発生させ、そのき裂を進展させる加工方法である。Fig.1にレーザー割断の原理図を示す。材料表面にレーザーを照射すると、照射部は急激な温度上昇とともに熱膨張する。照射部は周囲の低温部分から拘束されるため、照射部には圧縮応力が生じ、その周囲には引張応力が生じる。引張応力は照射部を中心とする円周方向に働くため、引張応力場にき裂の先端が存在すると、き裂は照射部中心に向かって進展する。材料に任意の送り速度を与えてレーザー照射部を移動させることにより、き裂はレーザー照射部に追従して進展するため、材料を分断することができる。

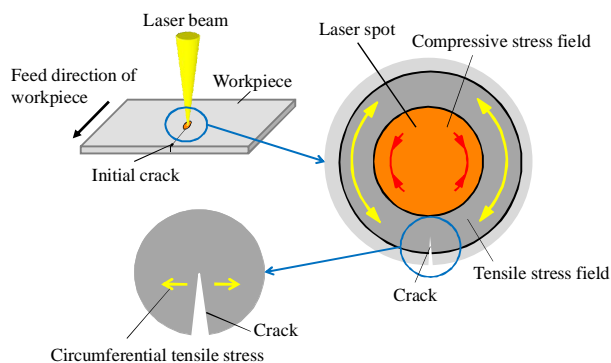


Fig.1 Phenomenon of laser cleaving

3. サファイアウエハのレーザー割断

3.1 実験方法

実験装置の概略図をFig.2に示す。実験に用いたのは、レーザー微細加工システムRAPYULAS MPT-1030(三星ダイヤモンド工業(株)製)である。レンズの焦点位置よりも下方に試料を固定することでデフォーカスを与え、ビーム径 d を変化させてレーザー割断を行った。

実験条件及び試料の詳細をTable 1に示す。試料は厚さ150 μ mの片面研磨サファイアウエハであり、試料の中央部には前もって導入された溝加工が施されている。溝加工は、波長355nmのNd:YAGレーザー(3倍波)を用いて行われた。本実験で用いた溝の写真をFig.3に示す。溝の幅は7 μ m、深さは15 μ mである。試料幅を a と定義し、本研究では試料幅が $a=24\text{mm}\sim 0.50\text{mm}$ の試料を使用した。

得られた割断面は、三次元粗さ測定器を用いて割断面中心位置の断面プロファイルを測定し、最大高さ P_z を調べて割断面の表面性状を評価した。なお、本実験での評価長さは3mmとした。

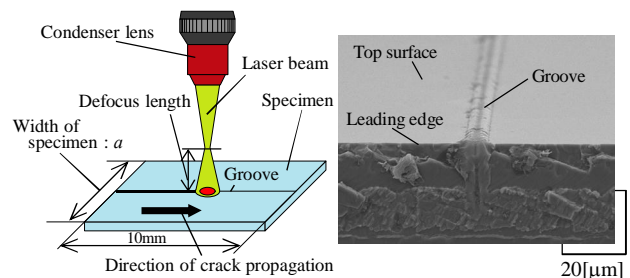


Fig.2 Experimental setup for laser cleaving

Fig.3 Image of groove as an initial crack

Table 1 Experimental conditions for laser cleaving

Laser		CO ₂ laser	
Wave length	[μ m]	λ	10.6
Irradiation mode			Continuous wave
Laser power	[W]	Q	3.0~9.0
Defocus	[mm]	df	0~2.4
Beam diameter	[μ m]	d	72.4~599
Energy density	[J/mm ²]	P	2.67~16.57
Specimen		Sapphire wafer (c-plane)	
Groove depth	[μ m]		15
Width of specimen	[mm]	a	24~0.50
Thickness	[μ m]	t	150
Feed rate	[mm/s]	V	5.0

3.2 実験結果および考察

Fig.4は、試料幅 a を変えたとき、切断面中央位置での最大高さ Pz の変化を示す。試料幅 a が 2mm までは Pz の大きさに大きな変化がなく、ほぼ一定であったが、試料幅 a が 1mm では急激に Pz が大きくなった。また、同レーザー照射条件における試料幅 $a=0.5\text{mm}$ のレーザー走査後の照射面写真を Fig.5 に示す。図から明らかなように、ウエハ試料の両端まで亀裂が発生し破損している。これは、試料内に発生した過大な熱応力が原因と考えられる。

試料幅が $a=1.0\text{mm}$ のとき、レーザーパワー Q の違いによる最大高さ Pz の変化を Fig.6 に示す。レーザーパワーが $Q=6.0\text{W}$ のときの切断面の写真を Fig.7 に示す。良好な切断面が得られていることがわかる。したがって、サイズの小さい試料を用いてレーザー切断を行う場合、レーザーパワーを低く抑えることで良好な切断面を得ることができるといえる。

試料幅が $a=0.5\text{mm}$ のとき、切断後の照射面と切断面の写真を Fig.8 に示す。右図より、切断面上部には前もって導入された溝跡が確認でき、溝に沿ってウエハが切断されていた。適切なレーザー照射条件を設定することで、試料が小さい場合でも清浄な加工が可能であることがわかる。また、試料幅が $a=0.5\text{mm}$ と $a=6.0\text{mm}$ の切断の可否を Fig.9 に示す。試料幅が $a=0.5\text{mm}$ のとき、 $a=6.0\text{mm}$ と比較して、切断が可能となる領域が狭い。これは、サファイアが高熱伝導の材料であることが原因と考えられる。レーザー照射時に十分な温度差が形成されれば、亀裂は進展しウエハを分断することが可能となる。しかしながら、サファイアの熱伝導率は $42\text{W/m}\cdot\text{K}$ であり、他の硬脆材料と比較して大きい。そのため、試料サイズが小さい場合、レーザー照射に起因して生じた熱が試料全体に拡がり、切断に必要な温度場が形成されなかったと考えられる。切断可能な温度場を試料内部に形成するためには、より短時間に多くのエネルギー流入が必要となる。このとき、サイズの小さな試料では熱容量も小さいことから、急激な温度上昇に伴い破損したと考えられる。したがって、小さい試料を切断する場合には、レーザー照射条件をより限定する必要があるといえる。

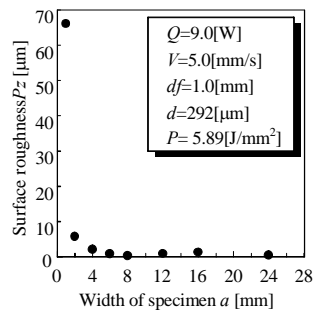


Fig.4 Variation of surface roughness with width of specimen (Measurement length : 3mm)

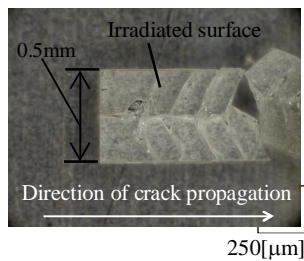


Fig.5 Image of damaged specimen ($a=0.5\text{mm}$, $Q=9.0\text{W}$, $d=292\text{μm}$, $V=5.0\text{mm/s}$)

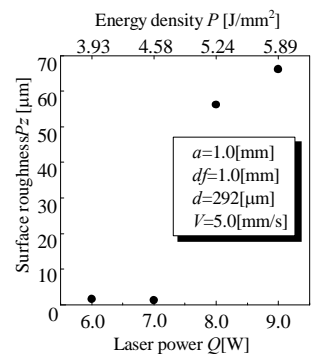


Fig.6 Variation of surface roughness with laser power (Measurement length : 3mm Width of specimen : $a=1.0\text{mm}$)

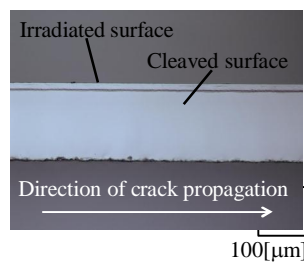


Fig.7 Image of cleaved surface ($a=1.0\text{mm}$, $Q=6.0\text{W}$, $d=292\text{μm}$, $V=5.0\text{mm/s}$)

4. 十字溝が加工されたサファイアウエハのレーザー切断

十字の溝が加工されているサファイアウエハの切断実験を行った。試料サイズを $6\text{mm}\times 6\text{mm}\times 150\text{μm}$ とし、各 6mm 辺の中央位置に試料始端から試料終端まで溝加工が施されている。なお、本実験に使用した溝深さは 10μm とした。切断後の照射面と切断面の写真を Fig.10 に示す。二回のレーザー走査によって試料を四分分割することができ、照射面、切断面共に良好な状態であった。これより、本手法はサファイアウエハを細分化する手法としての可能性を有するといえる。

5. 結言

CO_2 レーザーを用いて、溝加工が施されたサファイアウエハの切断実験を行った。得られた結果を以下にまとめる。

- 1) サファイアウエハのレーザー切断に対して、初期亀裂の代替としてレーザー加工で得られた浅い溝を適用することが可能である。
- 2) サイズの小さい試料加工をする際、レーザーパワーを低く抑えることで良好な照射面、切断面を得ることができる。
- 3) 十字の溝が加工されたサファイアウエハの切断において、二回のレーザー走査によって試料を四分分割することができる。

謝辞

本研究の遂行にあたり、ご協力、ご助力を頂きました三星ダイヤモンド工業株式会社の関係各位に深謝いたします。

参考文献

- 1) T.Ueda, K.Yamada, K.Oiso and A.Hosokawa : Thermal Stress Cleaving of Brittle Materials by Laser Beam, CIRP, Vol.51, No.1(2002), pp.149-152

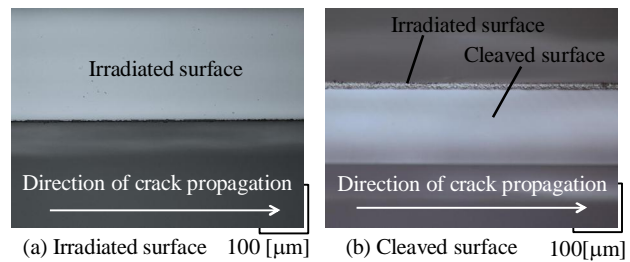


Fig.8 Image of wafer after laser cleaving ($a=0.5\text{mm}$, $Q=5.0\text{W}$, $d=292\text{μm}$, $V=5.0\text{mm/s}$)

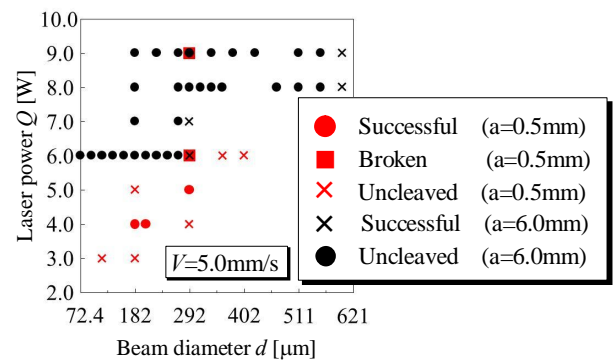


Fig.9 Propriety of laser cleaving (Width of specimen : $a=0.5\text{mm}$, $a=6.0\text{mm}$)

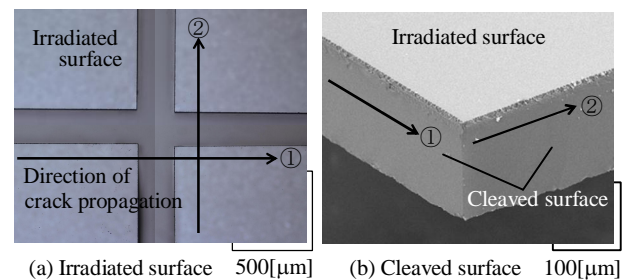


Fig.10 Image of cross point after laser cleaving ($Q=8.0\text{W}$, $d=402\text{μm}$, $V=5.0\text{mm/s}$)