

CO₂ パルスレーザによるサファイアウエハの熱応力割断上田隆司^{*1}, 三野大樹^{*2}, 古本達明^{*1}, 細川 晃^{*1}, 長友正平^{*3}Laser cleaving of sapphire wafer with pulsed CO₂ laser

Takashi UEDA, Taiki MINO, Tatsuaki FURUMOTO, Akira HOSOKAWA and Syohei NAGATOMO

CO₂ パルスレーザを用いて単結晶のサファイアウエハの熱応力割断を試みている。レーザ割断はサファイアウエハを分断する方法として有力な加工法である。パルスレーザを用いると、割断面には単結晶ウエハに特有な縞模様が形成される。曲線割断が可能であり、円弧状にサファイアウエハを割断できる。ウエハ上に加工された浅い溝の上をCO₂パルスレーザでなぞることによって、ウエハを割断できる。

Key words: laser cleaving, sapphire wafer, CO₂ laser, thermal stress, fracture toughness

1. 緒言

サファイアは高硬度のためにダイヤモンドブレードを用いて高精度に切断することは容易ではない¹⁾²⁾。レーザによる熱応力割断は、レーザ光をウエハに照射して、そのとき生じる熱応力を活用してき裂を伝播させウエハを分断する加工法であり、ダイヤモンドブレードによるダイシングに比べて取り代がいらぬ、切りくずを生じない、加工液が不要であるなどの特長があり、切りくずや廃液を生じない環境にやさしいエコ切断法の一つとして注目されている³⁾。

著者らはこれまで、ガラスやシリコンウエハの他、SiC ウエハ、InP ウエハなど電子デバイス用ウエハ⁴⁾、種々の構造用セラミックス⁵⁾などの硬脆材料をレーザ割断する方法について検討してきた。新しい材料をレーザ割断しようとするとき、最も困難な点はその材料の割断が可能であるかどうかかわかっていないことである。

そこで本研究では、サファイアウエハのレーザ割断の可能性について調べることにした。また、曲線状に割断することにより、結晶方位の影響について検討した。さらに、ウエハ上に細い溝を加工しておき、その溝に沿ってレーザを照射することによりウエハを割断する方法についても検討した。

2. 実験方法

2.1 サファイア基板

表1にサファイアの物性値を示す。シリコンウエハに比べて熱膨張率が小さく、熱伝導率(熱拡散率)が大きいことから熱応力を生じにくい材料である。また、破壊靱性値が大きいこと

から、シリコンウエハやガラスに比較して亀裂が進展しにくい材料であり、これらの材料に比べて割断しにくいことがわかる。一方、ビッカース硬さが Hv2000 以上と非常に硬く、ダイヤモンドブレードでは切断しにくい材料であることがわかる。

図1に厚み0.5mmのサファイアウエハの分光透過特性を示す。波長6μm以下の赤外線に対しては非常によい透過度を持っているが、7μm以上の長波長に対してはほぼ100%吸収することかわかる。そこで、本研究では波長が10.6μmのCO₂パルスレーザを用いることにする。

図2(a)にサファイアの結晶構造を示す。サファイアウエハは六方晶をしており、多くはC軸に垂直なC面を使っている。そこで、本研究では図2(b)に示すように、C面で結晶方位<0001>のサファイアを用いた。加工物送り方向は<2-1-10>方向として

表1 サファイアの物性値

厚み (μm)	125
ヤング率 (GPa)	4.7×10 ⁴
熱膨張率 (1/K)	5.3×10 ⁻⁶ (C-平行) 4.5×10 ⁻⁶ (C-垂直)
熱伝導率 (W/m・K)	41.9
比熱 (J/kg・K)	760
ビッカース硬さ Hv	1800 - 2100
破壊靱性値 K _{IC} (MPa・m ^{0.5})	1.96

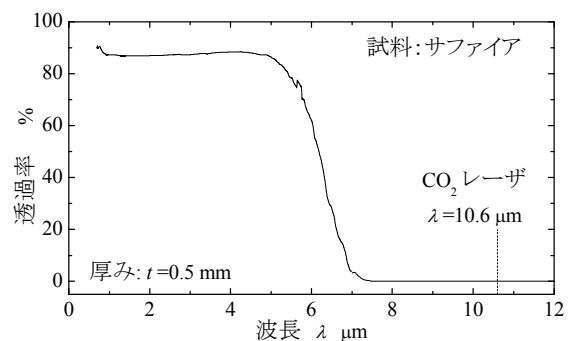


図1 サファイアウエハの分光透過特性

*1 金沢大学理工研究域: 〒920-1192 石川県金沢市角間町
Kanazawa University

*2 金沢大学大学院: 〒920-1192 石川県金沢市角間町
Kanazawa University

*3 三星ダイヤモンド工業(株): 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町
1-9-23
Mitsuboshi Diamond Industrial Co., Ltd.

(学会受付日: 2011年2月28日)

表2 実験条件

レーザー光	CO ₂ レーザー	
照射モード	パルス発振	
波長 (μm)	λ	10.6
周波数 (Hz)	f	200
デフォーカス (mm)	df	+5, +10
平均出力 (W)	Q	3-5

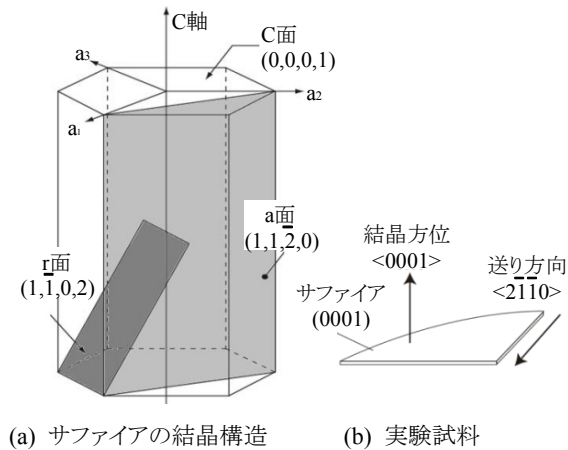


図2 サファイアウエハ

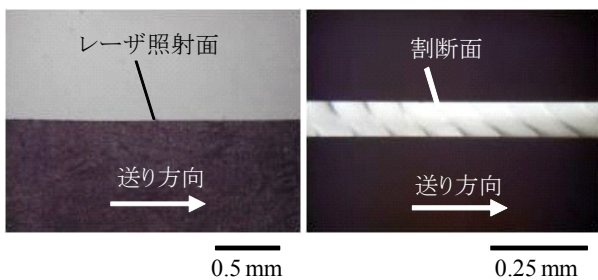


図3 サファイアのレーザー切断 ($Q=3$ W, $V=20$ mm/s, $df=+5$ mm)

いる。

2.2 実験方法

移動台上に放熱用のアルミニウム板を設置し、その上にサファイアウエハを固定する。ウエハにレーザーを照射しながら一定速度で移動することで、レーザー切断を行う。実験条件を表2に示す。レーザー光には、サファイアの分光透過特性を考慮して、パルス発振のCO₂レーザーを用いており、周波数は200Hzである。切断は、レーザー照射エネルギーとデフォーカス df を調整して行う。ウエハに導入する初期き裂は9.81Nの荷重でビッカース圧子を3個直列に打ち込むことによって導入している。すなわち、試料始端から200μmの位置に1個目、100μmの間隔を空けて2個目、さらに100μmの間隔を空けて3個目の圧子を打つことで導入した。

3. 実験結果

3.1 サファイアウエハの切断

図3はレーザーパワー $Q=3$ W, ウエハ移動速度 $V=20$ mm/sで切断した結果である。デフォーカス $df=+5$ mmとしていることか

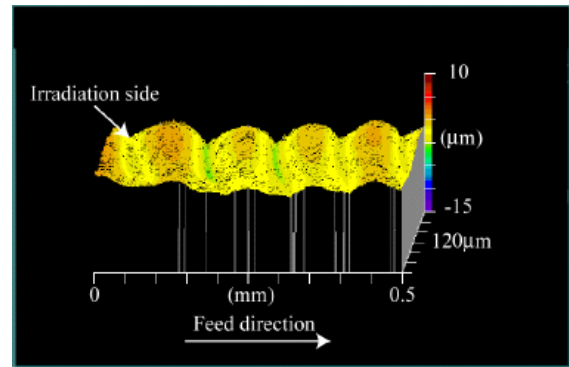
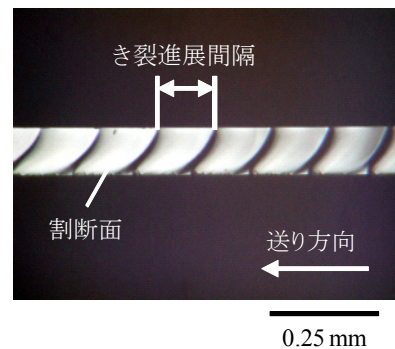
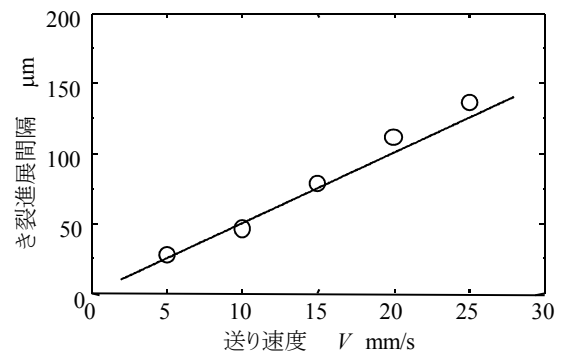


図4 切断面のプロファイル ($Ra=1.08$ μm, $Rz=4.02$ μm)



(a) サファイアの切断面



(b) 縞模様にあぼす送り速度の影響

図5 切断面状に形成される縞模様 ($V=25$ mm/s, $Q=5$ W, $df=+5$ mm)

らウエハ上でのビーム径は0.48mmである。図より、レーザー照射面に熱損傷を残すことなく、切断できていることがわかる。切断面には規則的な縞模様が見られる。この切断面のプロフィールを非接触表面粗さ計(Zygo社製:New View 5032)で測定した結果を図4に示す。き裂進展に伴って生じる縞模様が測定されている。 Ra で1μmを超える値となっているが、この模様を抑えることができれば Ra を0.2μm程度に抑えることができると考えられる。

図5は切断面の縞模様について調べており、移動速度 V を変化させて切断したときの縞模様の波長を測定した結果である。波長は移動速度に比例して大きくなっていることから1パ

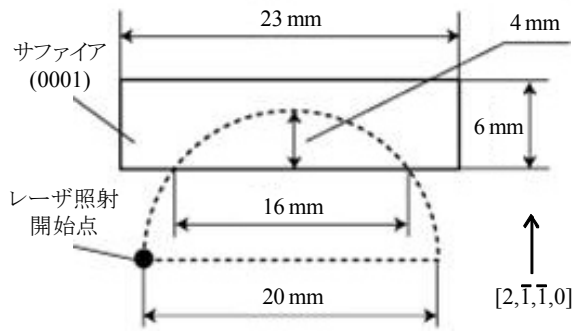
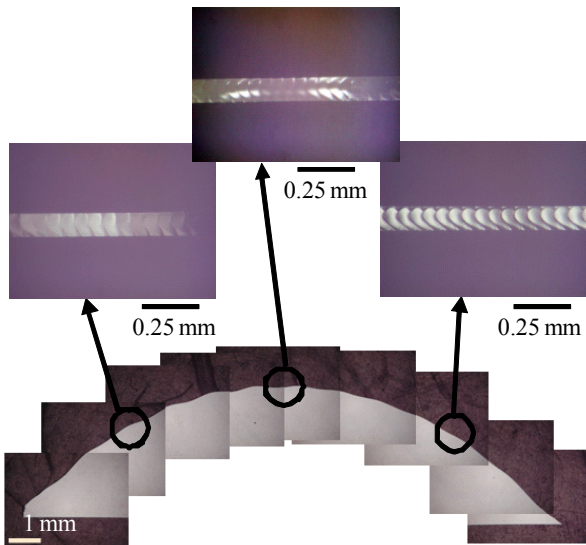


図6 曲線切断方法

図7 サファイアウエハの曲線切断
($V=10$ mm/s, $Q=4$ W, $df=+5$ mm)

ルスごといき裂が進展していると考えられる。このような縞模様は単結晶であるシリコンウエハの切断で観察されるが⁴⁾、非晶質のガラスでは観察されない⁶⁾。サファイアウエハも単結晶であることから、単結晶ウエハに特有な現象といえる。

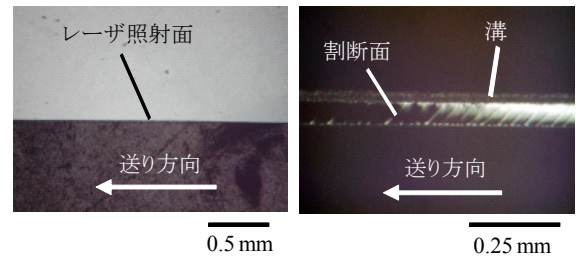
3.2 曲線切断

サファイアウエハの曲線切断を試みた。大きなサイズのウエハが入手できないことから、図6に示すように、直径20mmの円弧の一部を切り出している。試料面は(0001)面であり、 $Q=4$ W, $V=10$ mm/s, デフォーカス $df=+5$ mmで加工している。

切断した結果を図7に示す。図より明かなように円弧の切断が可能だが、切断面にはうねりが生じており、またパルス照射に起因したと考えられる縞模様が生じている。縞模様は一樣ではなく、結晶方位の影響を受けていると考えられる。非晶質のガラスの切断では、このようなうねりや縞模様を生じることはない。

3.3 溝加工されたサファイアウエハの切断

ビッカース圧子で初期き裂を入れる代わりに、前もって短波長レーザーでウエハ面上にレーザスクライビングによって溝を加工し、その溝に沿ってCO₂レーザーを照射し($V=5$ mm/s, $Q=4$ W, デフォーカス $df=+10$ mm<ビーム径=0.70 mm>), その

図8 レーザスクライビング
($V=5$ mm/s, $Q=4$ W, $df=+10$ mm)

時生じる熱応力を利用してウエハを切断している。切断面の顕微鏡写真を図8に示す。図からわかるように、切断面の上部に前もって導入された溝跡が残っている。溝加工には波長355nmのNd:YAGレーザー3倍波(移動速度 $V=15$ mm/s, レーザパワー $Q=0.5$ W)を用いており、溝の幅は7.2 μ m, 深さは20.7 μ mである¹⁾。図8に見るように、溝に沿ってウエハが分断され、良好な切断面が得られていることがわかる。また、切断面には、CO₂レーザーのパルスに同期した波模様形成されており、図3と同様の傾向を示している。したがって、初期き裂の代わりに溝を加工する方法も有効であるが、溝加工のために短波長レーザーを準備し、溝加工する工程が必要となる。

4. 結言

CO₂パルスレーザーを用いて単結晶のサファイアウエハの熱応力切断を試みた。得られた結果をまとめると次のようになる。

- 1) CO₂レーザーにより、サファイアウエハを熱応力切断することができ、サファイアウエハを分断する加工として有力な加工法であるといえる。
- 2) パルスレーザーを用いると、パルスの周期に起因した縞模様が切断面に形成される。この傾向は、単結晶ウエハに特有な傾向である。
- 3) 曲線切断が可能であり、円弧状にサファイアウエハを切断できる。切断面にはうねりや縞模様が形成され、結晶方位の影響を受ける。
- 4) ビッカース圧子による初期き裂の代わりに、ウエハ上に浅い溝を付けておき、その上をCO₂パルスレーザーでなぞることにより、ウエハを切断できる。

5. 参考文献

- 1) S. Nagatomo, J. Ogawa, A. Saijo and N. K.riyama: Laser Scribing of the Hard and Brittle Materials, Proceeding of the 65th Laser Materials Proceeding Conference, (2005) 207 (in Japanese).
- 2) M. Sugata: Laser Scribing Methods of the Sapphire Substrate, J. Jpn. Soc. Abras. Technol., 49, 4 (2005) 191 (in Japanese).
- 3) T. Ueda, K. Yamada, K. Oiso and A. Hosokawa: Thermal Stress Cleaving of Brittle Materials by Laser Beam, CIRP Ann., 51, 1 (2002) 149.
- 4) T. Ueda, K. Tanaka, S. Nishioka, K. Yamada and A. Hosokawa: Laser Cleaving of Wafer for Electric Devices, J. Jpn. Soc. Precis. Eng., 75, 3, (2009) 443 (in Japanese).
- 5) T. Ueda, S. Nishioka, K. Tanaka, K. Yamada and A. Hosokawa: Laser Cleaving of Ceramics, J. Jpn. Soc. Abras. Technol. 53, 2 (2009) 111 (in Japanese).
- 6) T. Kurobe, N. Kawamukai and T. Takao: Breaking of Transparent Glass Plate by Irradiation of YAG Laser, J. Soc. Mat. Sci., 42, 479 (1993) 1004 (in Japanese).