溝加工が施されたサファイアウエハのレーザ分割*

上田 隆司^{*1}, 松永 隆秀^{*2}, 古本 達明^{*1}
細川 晃^{*1}, 長友 正平^{*3}

Laser Cleaving of Sapphire Wafer with Pre-Groove

Takashi UEDA^{*1}, Takahide MATSUNAGA, Tatsuaki FURUMOTO,
Akira HOSOKAWA and Shouhei NAGATOMO^{*1} Kanazawa Univ. Dept. of Mechanical Engineering
Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192, Japan

Sapphire wafer with pre-groove is cleaved by the irradiation of continuous CO₂ laser. The width of groove is 5 μm and the depth is 15 μm . The groove is made by the irradiation of third harmonic wave of Nd:YAG laser whose wavelength is 322 μm . The pre-groove plays the initial crack which is conventionally introduced by pressing the diamond indenter in laser cleaving. The crack is induced from the pre-groove by the irradiation of laser beam and propagates along the pre-groove and as a result the wafer is divided. The surface roughness of the cleaved surface is very smooth and the surface roughness is smaller than 0.1 μm . Using the pre-groove makes possible to propagate the crack cross the cleaved surface of the wafer.

Key Words : Laser Processing(1064), Sapphire, Laser Cleaving, Pre-Groove, CO₂ Laser

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おり、近年ではLEDチップの基板などの用途に広く用いられている。硬脆材料であるサファイアを分断するにはダイヤモンドブレードによる切断やスクライビングなどが行われているが、容易ではない⁽¹⁾⁽²⁾。レーザ分割はレーザ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・切り代が不要であり、非接触で加工できることから外力が働かないといった特長を持っている。ところが、レーザ分割は原理上、亀裂進展の起点となる初期亀裂が必要であり、ビッカース圧子などにより初期亀裂を導入しなければならない⁽³⁾⁽⁴⁾。また、亀裂を横断して亀裂進展させることができないことから、十字状に亀裂を進展させて分断することができない。さらに、熱応力を利用して亀裂を進展させていることから、ウエハが小さくなるとエッジ部の影響を受けることになり、分割幅を狭くして細かく分断することが難しいなどの問題点がある。

そこで、本研究ではレーザ分割のもつこれらの欠点を克服する新しい試みとして、ウエハ上に前もって十数ミクロンの深さの浅い溝を加工しておき、この溝に沿って亀裂を伝搬させ、ウエハをチップ状に分断する方法を提案している。この溝が亀裂進展の起点となることから、これまでのような初期溝を導入することが不要である。亀裂が溝に沿って進展することから分割幅の小さい加工が可能となり、また、溝を十字状にクロスさせて作っておくことにより、断面を横断して亀裂伝搬が可能となり、小さなチップの製作が可能となるなど（本研究では、

* 原稿受付 2013 年 4 月 21 日

^{*1} 正員, 金沢大学 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)^{*2} 金沢大学理工学域^{*3} 三星ダイヤモンド工業(株) (〒566-0034 大阪府摂津市香露園 32-12)

E-mail: ueda@se.kanazawa-u.ac.jp

0.25 mm幅のチップ製作を目標)，これまでのレーザ切断の弱点を克服することができる．

2. 実験方法

2・1 サファイアウエハと溝加工

実験に使用したサファイアウエハを図1に示す．表面は(0001)面であり， $[-1-1\ 2\ 0]$ 方向に亀裂を進展させている．表面は研磨仕上げされており，ウエハの厚さは150 μm である．ウエハ上の初期溝の加工は，波長355 nmのNd : YAGレーザ(3倍波)を用いて行っている．(a)は十字状に溝を入れたウエハを上から見ており，(b)はウエハ断面を見ており，溝の幅が5 μm ，深さが15 μm である．幅 a のサファイアを準備し， a を2等分する位置に1本の溝を入れて試料としている．本研究では試料幅を $a = 24\text{ mm} \sim 0.50\text{ mm}$ の間で変化させており，目標の0.25 mmのチップを製作するには $a = 0.50\text{ mm}$ の試料を切断することになる．

(a) Top view of sapphire specimen

(b) Side view of sapphire specimen

Fig.1 Pre-groove made in surface of Sapphire wafer

2・2 実験装置と実験条件

実験には，レーザ微細加工システムRAPYULAS MPT-1030(三星ダイヤモンド工業(株)製)を用いた．レンズの焦点を試料表面より上部に合わせることでデフォーカスを与え，ビーム径を $d = 58.3 \sim 717\ \mu\text{m}$ の間で変化させる．実験条件を表1に示す．レーザ光はウエハの外からスタートさせ，前もって導入されている溝の中心線にレーザ光の中心を合わせて一定速度 $V = 5\text{ mm/s}$ でレーザ光をスキャンすることにより切断を行った．レーザパワーは $Q = 3.0 \sim 9.0\text{ W}$ の間で変化させた．

Table 1 Experimental conditions

Laser		CO ₂ laser	
Wave length	[μm]	λ	10.6
Irradiation mode		Continuous wave	
Laser power	[W]	Q	3.0~9.0
Defocus	[mm]	df	0~2.4
Beam diameter	[μm]	d	58.3~717
Energy density	[J/mm ²]	P	2.23~20.58
Specimen		Sapphire wafer (c-plane)	
Groove depth	[μm]		15
Width of specimen	[mm]	a	24~0.50
Thickness	[μm]	t	150
Feed rate	[mm/s]	V	5.0

3. 実験結果及び考察

切断結果の評価であるが、亀裂が伝搬してウエハを分断できたか、亀裂が溝に沿って伝搬したか、熱応力でウエハが破壊していないか、切断面の粗さは小さいか、などで判断することにする。目指しているレーザ切断は、溝に沿って亀裂を伝播させてウエハを分断し、かつ切断面の表面粗さが $0.1\mu\text{m}$ 以下となるレベルである。

3・1 レーザパワーの影響

幅 $a=1.0\text{mm}$ のサファイアに対し、レーザパワー Q を変化させて切断実験を行った。図2は溝に沿って亀裂が伝搬してウエハの分断に成功した結果を示している。切断面の最大高さ P_z を測定することにより、切断の精度を示している。レーザパワー Q が7Wまで、すなわち照射したレーザのエネルギー密度 p が $4.2\text{J}/\text{mm}^2$ までは P_z は非常に小さく、高精度の切断が行われていることがわかる。ところが、レーザパワー $Q=8.0\text{W}$ になり、エネルギー密度 p が $4.8\text{J}/\text{mm}^2$ になると、 P_z は急激に大きくなり、切断の精度が大きく低下していることがわかる。

Fig.2 Variation of surface roughness P_z with laser power Q

このときの切断面の写真を図3に示す。図(a)はウエハの断面であるが、上面に前もって加工した溝の跡が残っている。深さ約 $15\mu\text{m}$ である。溝から下が切断した面であるが、鏡面となっており、面粗さは非常に小さい。これに対し、図(b)では、上面近傍に溝の跡が残っているが、溝から下の部分には大きなうねりを生じており、我々が

Fig.3 Image of cleaved surface

($a=1.0[\text{mm}]$, $df=1.0[\text{mm}]$, $d=333[\mu\text{m}]$, $V=5.0[\text{mm}/\text{s}]$)

望む切断面が得られていない．このように，照射するレーザのエネルギー密度がある限界を越えると急激に切断面の粗さが悪くなり，時には試料が粉々に破壊される場合も出てくる．試料幅の小さな試料ではエネルギーの影響が大きく現れることになり，切断条件の設定が難しくなることがわかる．

3・2 試料幅の影響

図4は，レーザパワー $Q = 9 \text{ W}$ ($p = 5.41 \text{ J/mm}^2$)と一定にして，試料幅 a を変えて切断を行ったときの，切断面での最大高さ P_z の変化を示す．試料幅 a が4.0 mmまでは P_z の大きさに大きな変化はなく，ほぼ一定である．しかし，試料幅 a が1.0 mmになると，急激に P_z が大きくなっている．エネルギー密度 p が $p = 5.41 \text{ J/mm}^2$ と大きいことから，試料幅が大きい場合は安定した切断が行われているが， $a = 2 \text{ mm}$ 以下になるとレーザ照射部の温度が上昇しやすくなり，発生する熱応力が大きくなって亀裂の伝搬が不安定となり，切断面が粗くなってしまふと考えられる⁵⁾．さらに試料幅の小さい $a = 1 \text{ mm}$ になると温度が高くなるため，図3 (b)に示したように，切断面の P_z は非常に大きくなってしまふ．試料サイズが小さくなると温度が上昇しやすくなるため，加工条件の設定が難しくなることがわかる．

Fig.4 Influence of width of specimen on roughness of cleaved surface

以上の結果を基に適切なレーザ照射条件を見つけ出し，試料幅 $a = 12 \text{ mm} \sim 0.50 \text{ mm}$ のサファイアウエハを切断した結果から， $a = 2.0 \sim 0.5 \text{ mm}$ の写真を図5に示す．サイズが小さくなるにつれて切断が可能となるレーザ照射条件が狭まる中で，適切なレーザ照射条件の設定により，本研究の目標としている試料幅 $a = 0.50 \text{ mm}$ のサファイアウエハ試料のレーザ切断が可能となっている．

Fig. 5 Sapphire wafer after laser cleaving

3・3 十字状の溝が施されたサファイアウエハの割断

一枚のサファイアウエハ試料から4枚のウエハを切り出すことを目的とし、試料表面に十字状に溝を加工したサファイアウエハを使用して割断加工を行った。試料表面の結晶方位は(0 0 0 1)面で、試料厚さは $t=150\text{ }\mu\text{m}$ である。一回目のレーザ走査は $[-1\ 1\ 0\ 0]$ 方向、二回目は $[-1\ -1\ 2\ 0]$ 方向とする。実験条件は、レーザパワーを $Q=8.0\text{ W}$ 、ビーム径を $d=470\text{ }\mu\text{m}$ としている。また、加工速度は $V=5.0\text{ mm/s}$ であり、前もって試料表面に導入された加工溝の深さは $10\text{ }\mu\text{m}$ とした。

図6は4分割したサファイアウエハを上部から見た写真である。まず、①方向に亀裂を進展させ、ウエハを2分している。その状態を保ったまま②方向に亀裂を進展させることで4枚のチップに分断している。前もって溝が加工されていることで、すでに分断されている①方向の断面を乗り越えて②方向に亀裂を進展させることが可能となっている。また、溝から逸れることなく亀裂が進展しており、割断面あらさも $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以下と極めて良好な割断が行われている。

Fig.6 Sapphire wafer divided to four pieces by laser cleaving

4. 結 言

サファイアウエハに前もって溝を施し、この溝に沿って亀裂を進展させることによりウエハを分断する方法を提案している。この方法により、初期亀裂の導入が不要となり、小さな試料の分断が可能となり、十字状に亀裂を進展させることでウエハをチップ状に分断することが可能となり、これまでのレーザ割断において大きな問題となっていた3つの短所を克服できる可能性を示すことができた。

文 献

- (1) 菅田 充, “サファイア基板光半導体のレーザ割断法”, 砥粒加工学会誌, Vol. 49, No. 4 (2005), pp. 191-194.
- (2) 長友正平, 小川純一, 西條敦弘, 栗山規由, “レーザによる硬脆性材料のスクライビング加工”, 第65回レーザ加工学会講演論文集, (2005), pp. 207-210.
- (3) 上田隆司, 三野大樹, 古本達明, 細川 晃, 長友正平, “CO₂ パルスレーザによるサファイアウエハの熱応力割断”, 砥粒加工学会誌, Vol. 55, No. 7 (2011), pp. 424-426.
- (4) 上田隆司, 田中邦茂, 西岡慎吾, 山田啓司, 細川 晃, “電子デバイス用ウエハのレーザ割断”, 精密工学会誌, Vol. 75, No. 3, (2009), pp. 443-445.
- (5) 山田啓司, 大磯桂一, 細川 晃, 上田隆司, “パルス YAG レーザによる Si ウエハの割断機構に関する研究”, 精密工学会, Vo. 67, No. 11, (2001), pp. 1861-1865.