

# スクライビングホイールの稜角がシリコンの亀裂伸展挙動に及ぼす影響

千葉大学 ○朝緑紗希, ◎松坂壮太, ◎比田井洋史, ◎千葉明, ◎森田昇

本研究では、ホイール割断を単結晶シリコンに適用し、亀裂の伸展方向に対する結晶面の影響を検討した。ホイール稜角を変化させて(100)面に対してスクライブを行い、赤外線カメラを用いて亀裂伸展挙動を観察した。その結果、稜角が 115~140 度の場合、荷重方向に対して斜めに亀裂が発生したが、150 度の場合は斜め方向の亀裂は生じなかった。斜め方向の亀裂伸展は、すべり面である(111)面の方向に一致していた。

## 1. 緒言

集積回路の基板には、単結晶シリコンが広く使われている。シリコンを加工する方法として、ダイシングやレーザ加工が主に挙げられる。しかし、湿式加工、熱影響が大きいという問題点がある。シリコンと同じく高硬度・高脆性であるガラスの加工には、ホイール割断が適用されている。ホイール割断には高速・乾式加工である、熱影響が小さいという特長がある。しかし、シリコンは結晶材料であるため、シリコンをホイール割断した際の亀裂伸展に結晶面が影響する。

本研究では、シリコン基板をスクライブした際、結晶面が亀裂伸展挙動に与える影響を明らかにすることを目的とする。

## 2. 実験試料・実験装置

結晶方位が<100>、厚さが 1 mm であり、両面鏡面加工されている単結晶シリコンウエハを、{110}面に対して平行な方向に割断したものを試料として使用した。スクライビングホイールには、稜角  $\alpha=115, 125, 140, 150$  deg. のノーマルホイール DCW-TX を使用した。赤外線カメラの撮影速度は 50 fps とした。

## 3. 正面方向から観察した亀裂伸展挙動

### 3.1 実験方法

実験装置の概略図を Fig. 1 に示す。ホイールの押し付け時・除荷時の亀裂伸展挙動を、X 軸方向から赤外線カメラで撮影した。試料の大きさは  $15 \times 5 \times 1$  mm とした。また、XY 平面と{100}面、YZ および ZX 平面と{110}面が平行になるよう試料を配置した。

### 3.2 実験結果および考察

各稜角条件における X 軸方向から観察した亀裂伸展挙動を Fig. 2 に示す。Fig. 2(a)は  $\alpha=115$  deg. のときのホイール荷重時、Fig. 2(b), (c), (d)は  $\alpha=125, 140, 150$  deg. のときのホイール除荷時の亀裂伸展挙動である。

Fig. 2(a)より、 $\alpha=115$  deg. のとき、ホイール荷重時にメディアクラック、および斜め方向の亀裂が発生した。ここで先行研究より、くさび押込みにおける内部応力分布が解析された<sup>2)</sup>。これにより、くさびの半頂角が小さいほど、せん断応力が大きくなることわかる。本実験でも同様に  $\alpha=115$  deg. のとき、せん断応力が大きくなり、すべり変形が生じたため、{111}面と平行方向、つまり斜め方向に亀裂が発生したと考えられる。

Fig. 2(b), (c), (d)より、 $\alpha=125, 140$  deg. のときは、ホイール除荷時に斜め方向の亀裂およびラテラルクラックが発生したが、 $\alpha=150$  deg. のときは、ラテラルクラックのみが発生した。これは、稜角が大きいとき、ホイール押込み時の応力分布の広がり方が大きいため、圧子先端付近の応力が小さくなり、斜め方向の亀裂が生じなかったと考えられる。

## 4. 裏面方向から観察した亀裂伸展挙動

### 4.1 実験方法

実験装置の概略図を Fig. 3 に示す。スクライブしたときの亀裂伸展挙動を、Z 軸方向から赤外線カメラで撮影した。撮影後、スクライブ速度からホイール位置を算出した。スクライブ速度は 1 mm/s、スクライブ荷重は 5 N とした。試料の大きさは、 $15 \times 5 \times 1$  mm とした。また、XY 平面と{100}面、YZ および ZX 平面と{110}面が平行になるよう試料を配置した。

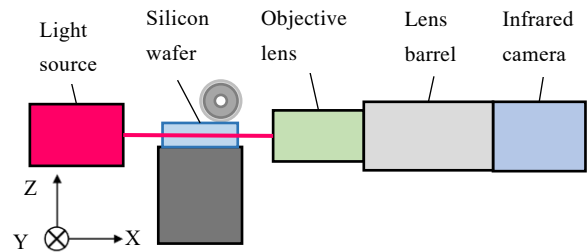


Fig. 1 Experimental equipment of crack observation from the Y-axis

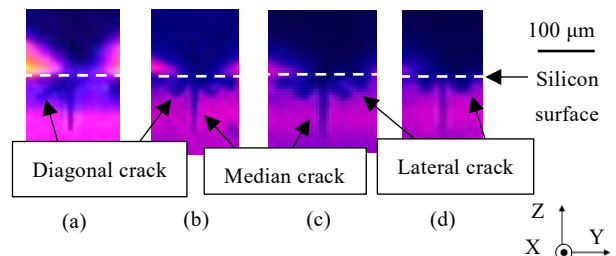


Fig. 2 Crack extension observed from the X-axis, (a)  $\alpha=115$  deg., (b)  $\alpha=125$  deg., (c)  $\alpha=140$  deg., (d)  $\alpha=150$  deg.

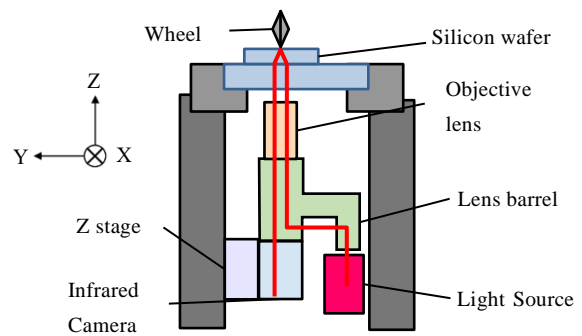


Fig. 3 Experimental equipment of crack observation from the Z-axis

## 4.2 実験結果および考察

各稜角条件におけるZ軸方向から観察した亀裂伸展挙動を Fig. 4 に示す。Fig. 4 より、 $\alpha=115 \text{ deg.}$  のとき、ホイール負荷時にY軸方向の亀裂が発生し、 $\alpha=125, 140, 150 \text{ deg.}$  のとき、ホイール除荷時にY軸方向に亀裂が発生したことがわかる。Fig. 2 より、Fig. 4(a)のホイール負荷時に発生した亀裂は、斜め方向の亀裂であると考えられる。

ここで、レーザ顕微鏡を用いて観察したスクライブ線を Fig. 5 に示す。Fig. 5 より、 $\alpha=115 \text{ deg.}$  のとき断続的な亀裂形状が観察され、 $\alpha=150 \text{ deg.}$  のとき連続的な亀裂形状が観察された。これは、 $\alpha=115 \text{ deg.}$  のとき、3.2 節で観察された斜め方向の亀裂が負荷時に生成されたため、ラテラルクラックが伸展しにくくなり、断続的な亀裂になったと考えられる。

Fig. 5 におけるA-Aのプロファイルを Fig. 6 に示す。Fig. 6 より、Y方向の亀裂が鋸型の形状であることが観察された。これは、{100}面に比べ、{110},{111}面の表面エネルギーが小さいため、亀裂が伸展しやすい{110},{111}面で伸展し、鋸型形状になったと考えられる。ここで、{100}面の表面エネルギーは $0.213 \text{ mJ/cm}^2$ 、{110}面の表面エネルギーは $0.151 \text{ mJ/cm}^2$ 、{111}面の表面エネルギーは $0.123 \text{ mJ/cm}^2$ である。

## 5. 側面方向から観察した亀裂伸展挙動

### 5.1 実験方法

実験装置の概略図を Fig. 7 に示す。Y軸方向から赤外カメラで、スクライブの様子を撮影した。試料の大きさは $3 \times 30 \times 1 \text{ mm}$ とした。また、XY平面と{100}面、YZおよびZX平面と{110}面が平行になるよう試料を配置した。スクライブ速度は $1 \text{ mm/s}$ 、スクライブ荷重は $10 \text{ N}$ とした。

### 5.2 実験結果および考察

本実験では、亀裂伸展挙動の観察ができなかった。本実験では、光散乱を抑えるためYZ平面と平行な2つの面を研磨し、観察を行った。このときの研磨が不十分であったため、亀裂が観察できなかったと考えられる。

そこで、鏡面加工されている{100}面をYZ平面と平行になるよう設置した。このとき、XYおよびZX平面と{110}面は平行となる。各稜角条件におけるY方向からみた亀裂伸展挙動を Fig. 8 に示す。Fig. 8 より、 $\alpha=115, 125, 140 \text{ deg.}$  のとき、断続的な亀裂が発生し、 $\alpha=150 \text{ deg.}$  のとき、連続的な亀裂が発生した。ここで、{110}面をスクライブしたときの表面を Fig. 9 に示す。Fig. 4 より、{100}面をスクライブしたとき、稜角が小さいほど亀裂の幅が小さくなった。Fig. 9 より、{110}面をスクライブしたとき、稜角が大きいほど亀裂の幅が小さくなった。

このように、スクライブする結晶面によって亀裂伸展挙動が異なるため、{110}面をスクライブ面としたときの実験結果を3, 4節の実験結果と比較することは難しい。ただし、側面方向の亀裂伸展挙動を観察する手法として、表面粗さの小さい面を観察面として用いる方法が挙げられる。

## 6. 結言

本研究では以下の結論を得た。

- {100}面をスクライブした場合、 $\alpha=115 \text{ deg.}$  では、ホイール負荷時に亀裂が発生した。 $\alpha=125, 140, 150 \text{ deg.}$  では、ホイール除荷時に亀裂が発生した。この原因として、せん断応力の影響が考えられる。
- {110}面をスクライブした場合、スクライブ面を{110}面としたとき、 $\alpha=115, 125, 140 \text{ deg.}$  では、断続的な亀裂が発生した。 $\alpha=150 \text{ deg.}$  では、連続的な亀裂が発生した。

## 参考文献

- 留井直子ほか：スクライブによる硬脆材料の亀裂伸展挙動，砥粒加工学会，Vol.62, No.9, 473-478(2018)
- 神宮利夫：くさび・円筒押込みにおける内部応力の解析，精密機械，Vol. 41, No. 3, (1975), 78-84

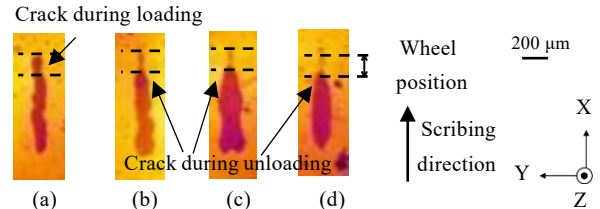


Fig. 4 Crack extension observed from the Z-axis, (a)  $\alpha=115 \text{ deg.}$ , (b)  $\alpha=125 \text{ deg.}$ , (c)  $\alpha=140 \text{ deg.}$ , (d)  $\alpha=150 \text{ deg.}$

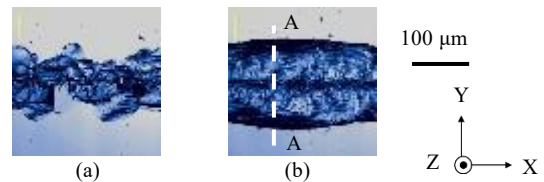


Fig. 5 Crack observed from {100} plane, (a)  $\alpha=115 \text{ deg.}$ , (b)  $\alpha=150 \text{ deg.}$

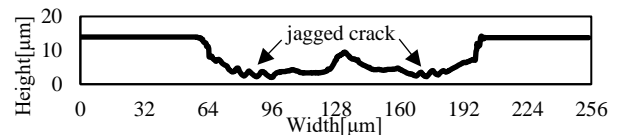


Fig. 6 Profile of scribing crack from {110} surface when  $\alpha=150 \text{ deg.}$

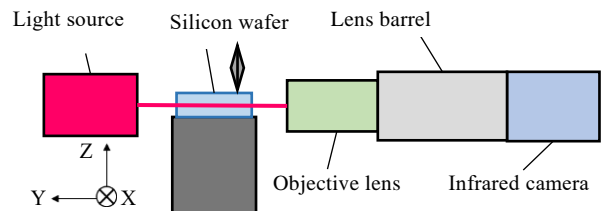


Fig. 7 Experimental equipment of crack observation from the X-axis

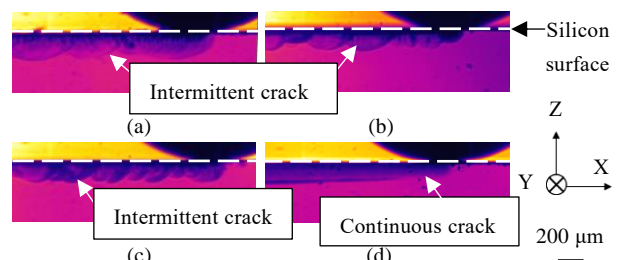


Fig. 8 Crack extension observed from the Y-axis when scribing surface is {110} plane, (a)  $\alpha=115 \text{ deg.}$ , (b)  $\alpha=125 \text{ deg.}$ , (c)  $\alpha=140 \text{ deg.}$ , (d)  $\alpha=150 \text{ deg.}$

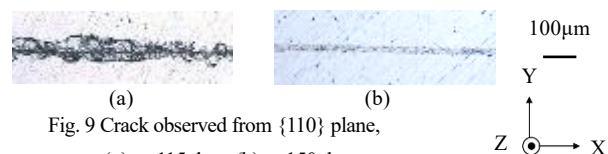


Fig. 9 Crack observed from {110} plane, (a)  $\alpha=115 \text{ deg.}$ , (b)  $\alpha=150 \text{ deg.}$