

# 単結晶シリコンウエハにおけるき裂形状と破壊靱性に関する基礎検討

## Crack shapes and Fracture Toughness of Single Crystal Silicon Wafers

勝 太一<sup>1)</sup>, 古賀 由泰<sup>2)</sup>, 今井 要<sup>2)</sup>  
指導教員 立野 昌義<sup>3)</sup>

1) 工学院大学 工学部 機械工学科 材料力学研究室

2) 工学院大学大学院 工学研究科 機械工学専攻

3) 工学院大学 工学部機械工学科

キーワード： 破壊靱性値, 異方性, き裂

### 1. 緒言

単結晶シリコンは結晶異方性を有していることから、へき開面への押し込み時の表面き裂の発生挙動が押し込み荷重および結晶異方性の影響を受けることも予想される<sup>(1)-(3)</sup>。このため、面方位の異なる主要面への圧痕導入後の圧痕周辺で発生する残留応力などの生成や破壊靱性値などを明確にする必要があると考えられる。

本研究では、基礎的な検討として、単結晶シリコンウエハの低指数結晶面(111)上にダイヤモンド製ヌープ圧子を垂直に押し込み、へき開面との直交する面(112)に沿った方向にき裂を発生させることを試み、圧痕直下のへき開面に生成されるき裂形状を明らかにすることを試みた。あわせて曲げ試験により表面き裂を起点に破断させ、得られた破壊強度と破断面から観察されるき裂寸法結果をCSF法評価式に代入し破壊靱性値を求めた。この結果を異なる評価方法により得た破壊靱性値と比較し、上記の結果の妥当性を明らかにする。

### 2. 実験方法

単結晶シリコンウエハの低指数結晶面(111)上にダイヤモンド製ヌープ圧子を垂直に押し込み、へき開面(110)と直交する面(112)にき裂を発生させることを試みる。さらにき裂を導入した面の表面除去試験片を適用し、破壊強度と破壊靱性値に及

ぼす表面除去量の影響を Controlled Surface Flaw (CSF) 法<sup>(1)-(3)</sup>を用いて評価した。

なお CSF 法とは、脆性材料の破壊靱性値を求める方法の一つとしてセラミックスやガラス材料などで実績のある方法である。この方法は、半楕円状き裂を導入した板状試験片表面周辺に生成される残留応力を焼なましまたは表面除去後に破壊強度評価を行い、破面からき裂の大きさを測定して破壊靱性を求める方法となる。以下に試験方法について説明する。

#### 2.1 試験片形状および圧子圧入条件

本実験では単結晶シリコンウエハ（株式会社松崎製作所製、主要面 {111}、直径 50mm、厚さ 0.300mm）をダイシングマシン（株式会社ディスコ製 DAD522）にて、長手方向 11.5mm、幅方向 5.0mm となるように小型の短冊状試験片を切り出した。このとき試験片の長辺側は単結晶シリコンウエハの 0F (110) 面に対して平行になるように切り出した。この面を試験片基準面として各面を直交するように切り出した。（図 1 参照）

小型短冊状試験片中央部に応力集中源となるき裂を微小押し込み硬さ試験機（株式会社マツザワ製：MMT-1）に取り付けた Knoop 圧子を用いて導入した。試験片に導入した表面き裂は、圧子の長辺側対角線が試験片基準面に対する直交面 (112) に入るよう試験片の位置調整を行い、

主要面{111}に対して垂直方向から押し込んだ。このときの圧子圧入条件は圧子導入荷重条件をP=980mN, 保持時間を5sec以内とした。

## 2.2 破壊強度と破壊靱性値の評価

圧痕周辺に生成される残留応力の除去量が不明であるため、表面除去は、イオンシャワー装置(EIC-200ER)を用いて10分間隔で50分まで除去加工を行った。引張試験機(株式会社イマダ製:縦型電動計スタンド:MX-500N)を用いて支点間距離を上部2.5[mm],下部7.5[mm]にし、上部治具を1.0mm/minで降下させ試験片を破断させた。このときの破断荷重から破断強度 $\sigma_f$ を求めた。破断面はレーザー顕微鏡(株式会社オリンパス製OLS3000)を用いて観察し表面き裂長さcとき裂深さdを測定してCSF法評価式を用いて破壊靱性値を導出した。

$$K_{IC} = 1.03\sigma_f \left(\frac{\pi d}{Q}\right)^{0.5} \dots (1)$$

$$Q \approx \phi^2$$

$$\phi = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left\{ \cos^2\theta + \left(\frac{d}{c}\right)^2 \sin^2\theta \right\}^{0.5} d\theta \dots (2)$$

## 3. 実験結果と考察

試験片中央部に圧子を導入した直後の表面き裂と破断面で観察されるき裂の代表例を図2に示す。破断面のき裂形状は、おおよそ半楕円状になっていることが確認でき、CSF法が適用できるものと考えられる。試験片に導入された圧痕周辺の表面除去量の増加に伴い、破断面から観察されるき裂深さは小さくなり、破断強度も上昇する。この時の破断強度の上昇は、表面き裂深さの低下によるものだけではなく、表面除去による残留応力低下が関与していることが考えられる。ただし、イオンシャワーの除去時間50分では、破壊靱性値が表面除去量によらず一定になる範囲については確認できなかった。本件に関しては圧痕導入時に生成される表面残留応力が関連すると考えられるが、今後も継続して評価する。

## 4. 結論

本研究では、基礎的な検討として、単結晶シリコンウエハの低指数結晶面(111)上にダイヤモンド製ヌープ圧子を垂直に押し込み、へき開面との直交する面(112)に沿った方向にき裂を発生させることを試み、圧痕直下のへき開面に生成されるき裂形状を明らかにできた。

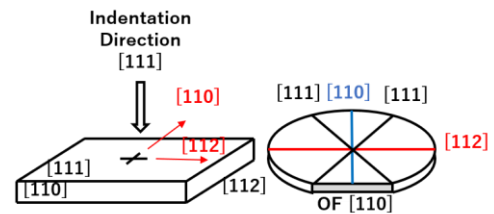


図1 試験片基準面

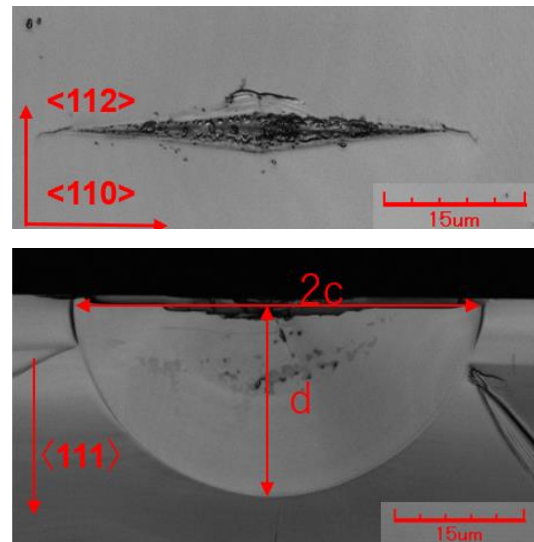


図2 表面圧痕画像と破断面画像

## 5. 参考文献

- (1) 林國朗, 辻本真司, 岡本泰則, 西川友三”単結晶 Si の破壊じん性”「材料」40, no. 451(1990):405-410.
- (2) 林, 辻本, 岡本, 西川, 単結晶 Si の高温破壊じん性, Vol. 41, No. 463(1992), pp. 488-494
- (3) 三好俊郎, 佐川暢俊, 佐々正”構造用セラミックスの破壊じん性評価に関する研究”日本機械学会論文集(A編)51, no. 471(昭60):2489-2497.