

単結晶シリコンウエハにおける圧子導入に伴う 表面き裂とそれに基づく破壊靱性

Fracture Toughness Obtained Using Indentation Crack on Main Surface of Single Crystal Silicon Wafer

今井 要¹⁾, 古賀 由泰¹⁾
指導教員 立野 昌義²⁾

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 工学部機械工学科

キーワード：破壊靱性値，圧子圧入法，き裂

1. 緒言

単結晶シリコンは微小機械の構成材料として期待されていることから、力学的な基礎データの取得するための材料試験技術を確立する必要があると考えられる。単結晶シリコンは脆性材料であることから、破壊靱性値を用いることが有用であると考えられる。脆性材料における破壊靱性値評価法の一つである Indentation Fracture Method (IF 法) では、硬さ試験機に取り付けられているダイヤモンド製圧子を試料表面上に押し付けることにより、表面き裂を導入し、このき裂の観察を行うことで破壊靱性値を得ることができる。

IF 法では破断させる必要は無いが、き裂形状によりき裂形態に応じた評価式なども提案されており、き裂形状の他に圧痕直下に形成されるき裂形態の把握することも重要である。

しかしながら、単結晶シリコンウエハの主要面を対象とした限りでは、圧痕直下に形成されるき裂形態やき裂形態およびそれらの圧痕導入依存性については明らかにされていないのが現状である。本研究では、単結晶シリコンウエハから切り出した小型短冊状試験片を対象として、Vickers 圧子における圧痕導入時の圧痕圧入荷重がき裂生成に及ぼす影響を明

らかにすることを試みた。

2. 実験方法

2-1. 供試材料と試験片切り出し

本実験に用いる供試材は、単結晶シリコン (株式会社松崎製作所 主要面{100}, 直径 50mm, 厚さ 0.300mm) を用いた。試験片の切り出しは、ダイシングマシン (株式会社ディスコ製 DAD522) を使用して、長手方向 11.5mm, 幅方向 5.0mm に切り出した短冊状試験片を用いた。(図 1)

2-2. 超微小硬さ試験機による圧痕導入

超微小硬さ試験機 (株式会社エリオニクス製 ENT-1100a) を用いて圧痕導入した。応力集中源として、Vickers 圧子を用いて試験片中央の鏡面に圧痕を導入した。圧子圧入条件は圧痕導入荷重 $P = 980 \text{ mN}$ を基準に漸減し、実験を行った。

レーザー顕微鏡 (株式会社オリンパス製 OLS3000) による観察画像より図 1 に示す各長さについて測定を行い、下記に示す評価式^{(1), (2)}を用いて破壊靱性値を算出する。

$c/a > 2.3$ の場合

$$K_c = 0.036 \cdot E^{0.4} \cdot P^{0.6} \cdot a^{-0.7} \cdot \left(\frac{c}{a}\right)^{-1.5} \quad (1)$$

$c/a < 2.3$ の場合

$$K_c = 0.0114 \cdot E^{0.4} \cdot P^{0.6} \cdot a^{-0.7} \cdot \left(\frac{c}{a} - 1\right)^{-0.5} \quad (2)$$

3. 実験結果及び考察

3-1. 圧痕および圧痕頂角からのき裂進展

図2に各圧子圧入荷重における圧痕観察結果の一例を示す。圧子導入荷重 $P \leq 140\text{mN}$ では圧痕頂角から進展するき裂が観察可能となり、破壊靱性値が測定できる範囲が明確になった。 $140\text{mN} \leq P \leq 980\text{mN}$ では圧痕頂角からのき裂が P の増加に伴い上昇し、き裂が四方に対称に進展するようになる。

3-2. 破壊靱性値と圧子圧入荷重の関係

低荷重範囲 $140\text{mN} \leq P \leq 61\text{mN}$ では、破壊靱性値が高くばらつきが大きくなった。この理由はき裂に対称性が確保されていないことに起因し、き裂が十分に進展した高荷重範囲 $490\text{mN} \leq P \leq 980\text{mN}$ では P によらず破壊靱性値はほぼ一定の範囲内になった。破壊靱性値の荷重依存性が明確になった。

4. 結論

本研究では、単結晶シリコンウエハ (100) にダイヤモンド製ピッカース圧子の押し込みを行い、形成される表面き裂から破壊靱性値を求め、圧痕導入荷重依存性を明らかにした。

参考文献

- 1) D.B. Marshall and A.G. Evans, *ibid.*, 64, C-182(1981).
- 2) K. Niihara, R. Morena and D.H. Hasselman, *J. Mater.Sci.Lett.*, 1,13(1982)

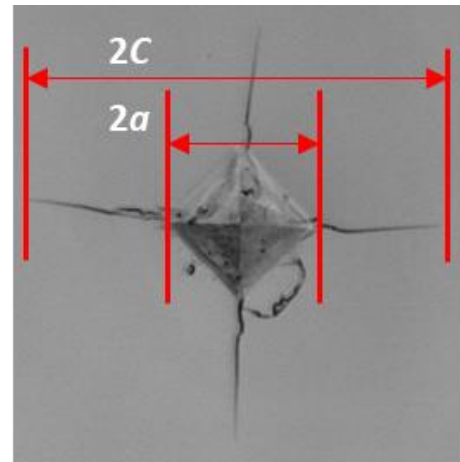
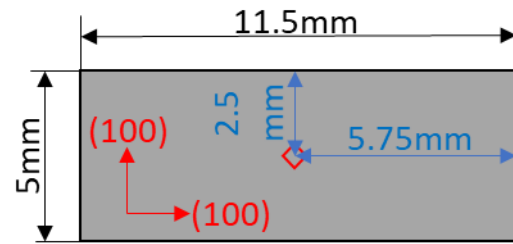


図1：試験片および圧痕概形

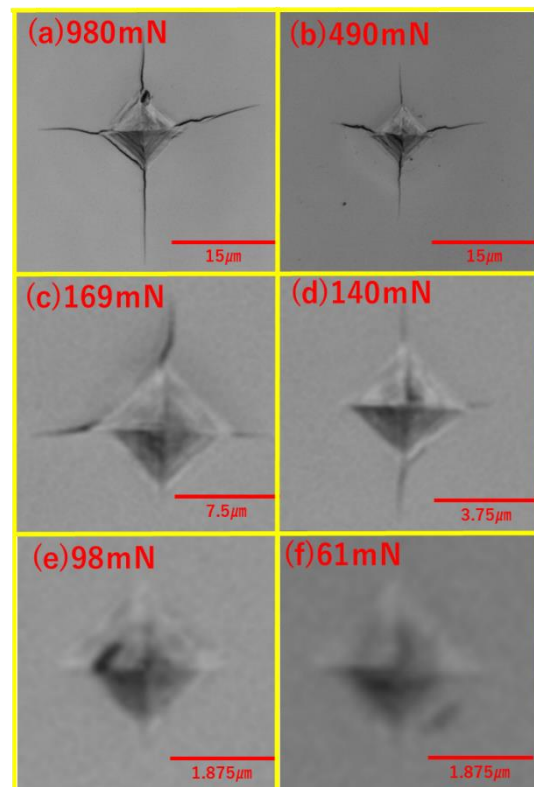


図2：圧子圧入荷重毎の圧痕