

# 単結晶シリコンにおける表面き裂形状と圧痕直下のき裂形態

## Surface Crack Shapes and Crack Configurations under Indentation Mark on Single Crystal Silicon

山田啓聖<sup>1)</sup>  
指導教員 立野昌義<sup>2)</sup>

- 1) 工学院大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 材料力学研究室  
2) 工学院大学 工学部 機械工学科

脆性材料では、破壊靱性評価の際に圧痕導入後の表面き裂形状に加え、圧痕直下のき裂形態が重要となるが、単結晶シリコンにてそれらの圧子圧入荷重依存性が明確になっていない。そこで本研究では、圧子圧入荷重毎の単結晶シリコンにおける表面き裂形状とき裂形態の関係性を明らかにした。

キーワード：単結晶シリコン，脆性材料，き裂形状，き裂形態

### 1. 緒論

単結晶シリコンは、へき開性や結晶方位異方性を有する脆性材料であり、微小き裂や割れによる破壊強度への影響が大きい。そのため、単結晶シリコンを微小構造体へ応用する際に、破壊靱性を評価することが破壊予測に有効である。脆性材料の破壊靱性評価法の圧子圧入法(IF法: Indentation Fracture Method)や表面欠陥制御法(CSF法: Controlled Surface Flaw Method)ではFig.1に示すような圧痕直下のき裂形態である Palmqvist Crack<sup>1)2)</sup>や Median Crack<sup>1)2)</sup>によって評価式を区別する手法や特定のき裂形態を想定した評価式が提案されている。そのため、単結晶シリコンの破壊靱性評価のために、表面き裂形状からき裂形態の予測・把握する手法の確立が望まれる。

本研究では、単結晶シリコンにて明らかにされていない圧子圧入荷重毎の表面き裂形状と圧痕直下のき裂形態の関係を特定し、得られた表面き裂からき裂形態の予測を試みた。その後実測結果と比較し、予測結果の妥当性を判断した。

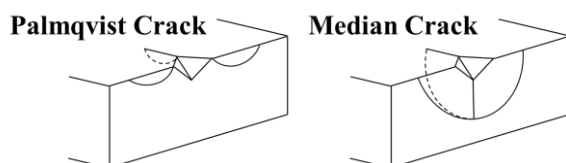


Fig.1 圧痕直下に形成されるき裂形態

### 2. 実験方法

#### 2.1. 試験片作製及び圧子圧入条件

単結晶シリコンウエハ(株式会社松崎製作所製、主要面{100}, 0F{110}, 直径 50mm, 厚さ 0.425mm)をダイシングマシンにて Fig.2 のように切り出した。この短冊状試験片にダイヤモンド製Vickers圧子を使用した超微小押込み硬さ試験機(株式会社エリオニクス製:ENT-1100a)にて、圧子圧入荷重  $P = 120, 180, 245, 360, 490.7, 980.7$  [mN]で圧痕を導入した。その後、四点曲げ試験にて導入した圧痕が起点となるように破断させ、破断面を走査型共焦点レーザー顕微鏡(オリンパス株式会社製:OLS-3000LS)にて観察した。

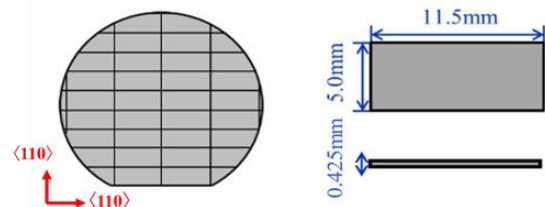


Fig.2 試験片寸法

#### 2.2. き裂形態予測法

き裂形態の遷移予測は、ガラスやセラミックス材料を対象として明らかにされた式を用いる。各き裂形態に対して、式(1)~(3)が成立することが報告されている。

Palmqvist Crack の場合<sup>3)4)</sup>

$$l = AP \quad (1)$$

$$c = \frac{a}{2} + l = AP + DP^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Median Crack の場合<sup>4)5)</sup>

$$c = BP^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

上記の $P$ は圧子圧入荷重[N]を表し、Fig.3 より表面き裂形状の計測箇所を示す。

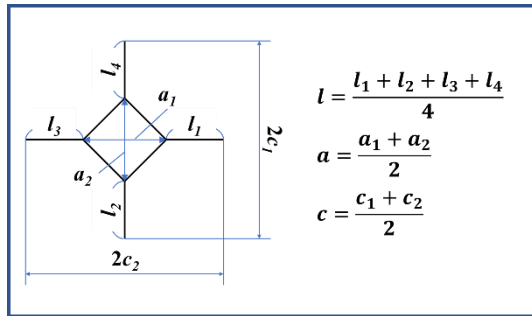


Fig.3 表面き裂形状の計測箇所等

### 3. 実験結果及び考察

荷重毎の圧子圧入後の試験片表面と四点曲げ試験後の破断面の観察結果から得られた表面き裂形状と圧痕直下のき裂形態を低荷重及び高荷重での代表例を Fig.4 に示す。圧子圧入荷重が増大することによって、Median Crack の特徴である圧痕直下の縦き裂や半楕円き裂が発生することが確認された。また、圧子圧入荷重の増大に伴い特徴的な表面き裂形状を有する割合が上昇していく傾向が確認された。その後、表面き裂形状からき裂進展が安定的に行われている荷重領域を特定し、各荷重領域で得られた表面き裂形状の計測結果から式(1)～(3)内の定数項 $A$ 、 $B$ 、 $D$ を算出した。この結果を用いて式(2)と式(3)によって、各き裂形態で得られる理論式の交点からき裂形態遷移領域を予測した。この時の遷移が想定される圧子圧入荷重とき裂形状を明らかにすることができた。

その後、圧子圧入荷重毎に観察された圧痕直下のき裂形態と比較し、予測式にて得られたき裂形態遷移領域の妥当性を明確にした。また、単結晶シリコンのき裂生成挙動に関する有用な現象に関して理解することができた。

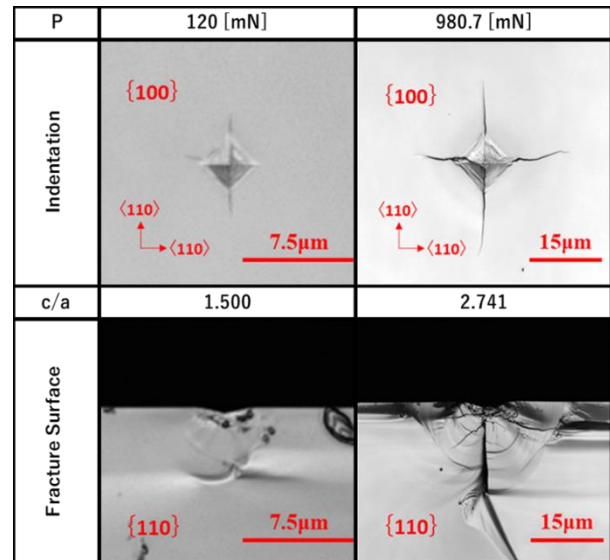


Fig.4 表面き裂形状および圧痕直下のき裂形態 (低・高荷重における代表例)

### 4. 結論

本研究では、単結晶シリコンにて明らかにされていない、圧子圧入荷重毎の圧痕直下のき裂形態挙動を明確にした。また、表面き裂形状から圧痕直下のき裂形態の予測を試み、その妥当性を確保したことで、今後の材料試験技術への貢献を図った。

### 5. 参考文献

- 1) 石川博幸, 新開紀彦, ガラスの K I C とビッカース押し込みにおける垂直割れ目の発生について, 材料, Vol. 30, No. 337, pp. 1025-1031(1981).
- 2) 酒井達雄ほか, 圧子圧入法によるファインセラミックスの残留応力測定法に関する一研究, 材料, Vol. 53, No. 5, pp. 546-552(2004).
- 3) Z. Li, A. Ghosh, A. S. Kobayashi and R. C. Bradt, J. Am. Ceram. Soc., 72
- 4) 日本材料学会編, “圧子圧入法によるセラミックスの残留応力測定方法”, p. 36(2001).
- 5) 酒井達雄, A. Ghosh, R. C. Bradt, 材料, 41, 889(1992).