

単結晶シリコンにおける表面き裂生成に関する検討

Investigation of Generation of Surface Crack on Single Crystal Silicon

高山翔吾¹⁾、長澤祐太²⁾、古賀由泰²⁾

指導教員 立野昌義³⁾

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：脆性材料，破壊靱性値，引掻き，表面欠陥

1. 緒言

安全性が要求される微小構造物や強度特性の予測は MEMS などの設計においても重要となり、き裂形状の把握やこれに基づく強度予測方法を確立することが必須となる。これらの構成する材料としては半導体プロセスが適用できる単結晶シリコンが有効であるとされている。室温における単結晶シリコンの破壊形態は脆性的に破壊するため、破壊靱性値を適切に評価することが重要となる。破壊靱性値評価に関連する因子には、き裂形状を把握する他に、試験片形状および人工的な欠陥を導入する際の表層部に存在する残留応力などの強度特性や変形挙動が関連することから複雑となる³⁾。こうした背景もあり、単結晶シリコンにおける破壊特性評価法に関しては未だ確立されていないのが現状である³⁾。

セラミックスやガラスなどの脆性材料の破壊靱性値評価には様々な方法が提案され、人工欠陥を基点にそれらを進展することで予き裂を生成する技術の確立も SEPB 法(Single Edge Pre-cracked Beam)法などでは必要となる。

硬度試験や引掻き試験における圧子や針を表面に押し付けることにより形成される圧痕直下における人工欠陥がどのような条件で、き裂が進展するかなどを明らかにする必要があると考えられる。

本研究では、破壊靱性値評価における基礎的な

検討として、単結晶シリコンにおける代表的な低指数結晶面上にダイヤモンド製圧子を押し込み、その際に発生する圧痕直下に生じるき裂形状を観察し、圧子形状に対応するき裂形状を明らかにする。あわせて、引掻き針で表面を引掻くことで、発生する引掻き痕およびその直下に生成するき裂を明らかにし、圧痕の形状とき裂形状との関連を明確にする。

上記の結果に基づき、破壊靱性値評価への適用性について考察を行う。

2. 実験方法

供試材料には、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。

2.1 硬さ試験用圧子圧入

試験片の切り出しにはダイシングマシン(株式会社ディスコ製 DAD522)にて、長手方向 11.5mm，幅方向 5.0mm(または 3.0mm)に切り出した短冊状試験片を用いた。

微小硬さ試験機(株式会社マツザワ，MMT-1)(図 1)を用いて試験片中央位置に Knoop 圧子あるいは Vickers 圧子を用いて表面き裂を導入した。このときの、圧子圧入荷重は $P=980\text{mN}$ とする。

2.2 引掻き試験

連続荷重式引掻強度試験機(株式会社新東科学

社製 HEIDON TYPE:18L)を用いた。引掻き針は先端に R 加工 ($R=0.05\text{mm}$) されたサファイア製円錐型を用いた。引掻き方向を $\langle 110 \rangle$ となるように単結晶シリコンウエハを設置した。室温環境下にて、試料を固定した試料台を水平方向に移動させて実施した。引掻き針を介して試料面に作用させる垂直荷重には、アーム上および引掻き針を固定する治具上に一定荷重の分銅を調整することにより荷重を与えた。引掻き針が移動する距離および引掻き速度は、それぞれ 25mm 、および $30\text{mm}/\text{min}$ とした。

レーザー顕微鏡(株式会社オリンパス社 OLS-3000)を用いて表面引掻き痕観察を行った。このときの、垂直荷重は $0-2.0\text{N}$ とする。圧痕直下および引掻き痕直下におけるき裂形状の観察では、短冊状単結晶シリコンを曲げ試験にて破断することで行った。破断面におけるき裂観察レーザー顕微鏡(株式会社オリンパス社 OLS-3000)による観察画像を用いた。

3. 実験結果と考察

微小硬さ試験機を用いて圧痕と曲げ試験後に観察される破断面観察結果から、Vickers および Knoop 圧子によって生成された圧痕直下の表面き裂形状の観察を行った。(図2参照)

その結果から、半楕円形状のき裂が確認できた。両者のき裂形状には、圧子形状により、き裂輪郭および内部に生じるき裂の形態に差異が生じていることが確認できた。

引掻きによるき裂生成に関して、表面から確認できる引掻き痕の観察を行い、次に破断面から観察されるき裂の観察を試みた。なお、垂直荷重がおよそ $F_N < 1.0\text{N}$ では、引掻き痕に沿って破断できなかった。 $F_N > 1.0\text{N}$ では、垂直荷重の増加に伴い徐々に圧痕深さが増加し、 $F_N = 1.2-1.3\text{N}$ で半楕円状のき裂が現れはじめていることが確認できた。この結果と引掻き時に採取した引掻き抵抗と垂直荷重曲線とを対応させ、き裂深さ d と垂直荷重 F_i との関係性を明らかにし、き裂長さや破断強度との対応を把握する予定である。

4. 結論

本研究では単結晶シリコンにおいての破壊靱性値を評価する上で重要となる人工欠陥の生成と進展に関する重要なデータを得た。

5. 参考文献

- 1) 西田俊彦・塩野剛司・長井淳夫・西川友三 プレクラック導入試片を用いた構造用セラミックスの破壊靱性評価



図1 引っ掻き試験機外観

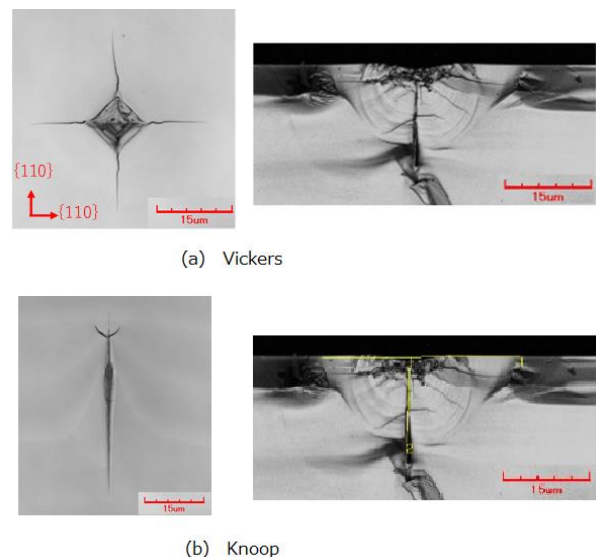


図2 表面き裂と圧痕直下におけるき裂の代表例
(a) Vickers 圧子, (b) Knoop 圧子