

単結晶シリコンウエハにおける破壊靱性評価における表面き裂導入

Introduction Method for Pre-crack on Specimen of Single Crystal Silicon

河野将大¹⁾, 古賀 由泰¹⁾, 白木 雄大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：破壊靱性値, 脆性材料, 表面き裂, 残留応力

1. 緒言

単結晶シリコンをマイクロマシンなどの微小機械用材料に使用する際, 設計に必要なとされる力学的特性について明確にする必要がある。

脆性材料であるセラミックスの主な力学的特性として破壊じん性値が取り上げられ, 各種の試験方法に関する検討が積極的に行われている。その中でも, SEPB (Single Edge Precracked Beam)法あるいは BI (Bridge Indentation)法に代表される予き裂導入破壊じん性試験方法(1)は, 試験片表面に圧入した圧こみを予き裂発生起点として板厚方向に貫通予き裂を導入できる試験法として知られている。この方法では, 圧こん生成に伴う残留応力の影響を無視できることや疲労予き裂と同等のき裂先端半径が微小と見なせる予き裂が導入可能であることから, 高密度セラミックス材料の破壊じん性値評価法としての有用性が認められている。しかしながら, 予き裂の導入の判断が困難であることや予き裂の斜進および予き裂の前縁が直線状にならないなども挙げられるなど, セラミックス以外の材料への適用を考慮する場合はこの方法の適応性や有用性を明確にしておく必要がある。

単結晶シリコンウエハを対象とした小型試験片に関して, 上記の方法を適用した報告例は著者の知る限りは無く。予き裂が導入されるような条件の検討や応力集中源からの亀裂の進展や予き裂前縁の状態などは明らかにされていない。

そこで, 本研究では単結晶シリコンのへき開面を予き裂生成面とする小型試験片を対象として, 予き裂発生源周辺に引張り応力を発生させる手法(BI法)の適用性を検討する。まず, 事前検討として予き裂生成に及ぼす治具溝幅と試験荷重の影響を明らかにすることを試みる。

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。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。(図1参照)

応力集中源として, 今回は(i)ダイシングマシンによる切り欠きおよび(ii)微小硬さ試験機(株式会社マツザワ製 MMT-1)を用いて試験機の中央地点にダイシングマシンによる切り欠きを導入, あるいは試験片中央位置に knoop 圧子を用いて圧痕を導入した。圧子圧入条件は圧痕導入荷重 $P=980\text{mN}$ とした。

2.2 予き裂導入(圧縮力負荷)

予き裂生成源として(i)ダイシングマシンによる切り欠きおよび(ii)ヌープ圧痕を導入した試験片を対象に圧縮負荷を図2のように加え, 予き裂の進展挙動を調査した。予き裂の導入の有無は圧縮荷重負荷直後には判別できないため, その後に実施する曲げ試験を行い, レーザー顕微鏡で破断面上に形成される予き裂の有無を確認した。

破壊強度評価に用いた曲げ試験を行う際には, knoop 圧痕した鏡面を下に向け圧痕した位置が上側の支点の中心に来るように設定した。予き裂形状の計測には, レーザー顕微鏡(株式会社オリンパス製 OLS3000)による観察画像が用いられた。上記から得られる破断強度と予き裂形状を SEPB 法による破壊靱性評価式に代入し K_{IC} を求めた。

3. 実験結果と考察

3.1 応力集中源と予き裂の有無

切り欠きを導入後に予き裂を導入した実験では, 切り欠きのコントロールが困難であり, 予き裂の導

入が 50N 未満の条件では困難であることが確認できた。代表例として図 3 を示す。

3.2 圧痕導入による予き裂導入

予き裂の集中源としての圧子形状および圧縮荷重直後の破断面予き裂前縁が生成される条件を明確にした。予き裂生成に及ぼす治具溝幅と試験荷重の影響に関する考察を行う。

4. 結論

本研究では単結晶シリコンのへき開面を予き裂生成面とする小型試験片を対象として、予き裂発生源周辺に引張り応力を発生させる手法(BI 法)の適用性を検討した。

試験片表面に導入した圧こんを予き裂発生の開始点として予き裂を導入し、顕微鏡を用いて破断面観察をない、強度の評価を行った。得られた結果の要約は以下の通りである。

(1) 切り欠きとして導入した試験片には、予き裂をへき開面上に生成させることは、き裂が切り欠き溝角部から斜進するため困難である。

(2) 圧痕を導入することにより、予き裂の生成が可能となる圧縮荷重範囲が存在する可能性があることが確認できた。

(3) 予き裂前縁は直線状にならないことが確認できた。予き裂前縁の評価または応力集中源としてヌープ圧痕数の増加による可能性を明確にする。

(4) SEPB 法による破壊じん性値を明確にできた。

参考文献

(1) 田中道七, 岡部永年, 境田彰芳, 中山英明, 常温および高温における常圧焼結窒化ケイ素の破壊じん性試験, 材料, 38, 261 (1989).

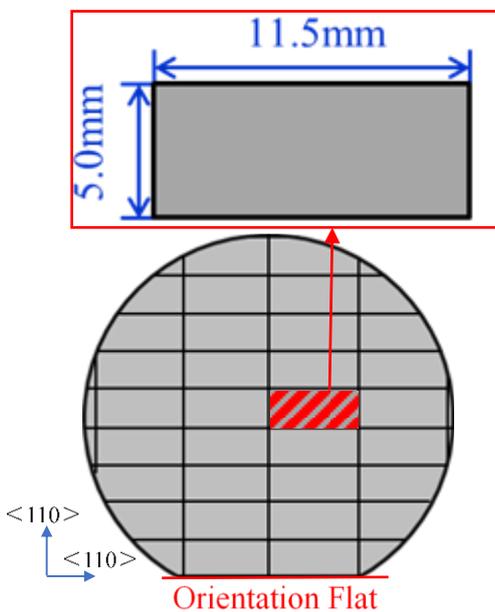


図 1.短冊状試験片

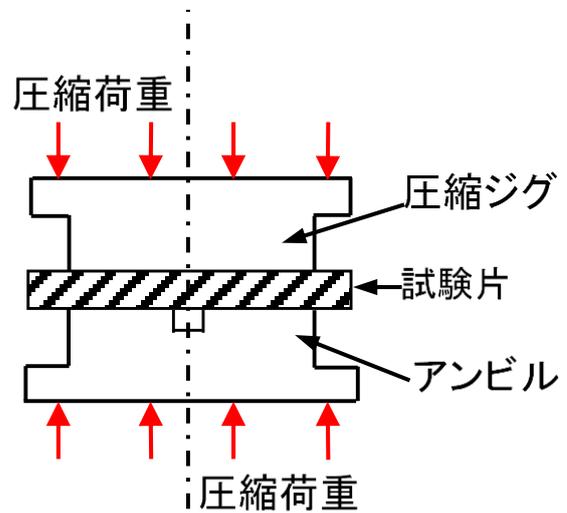


図 3.予き裂導入治具

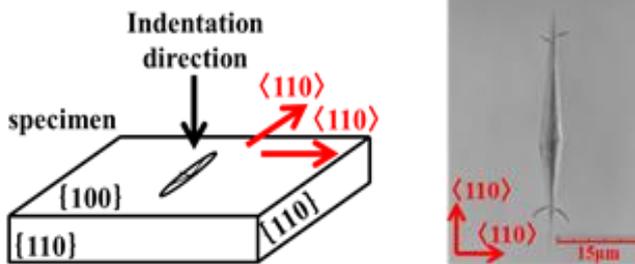


図 2.knoop 導入方向

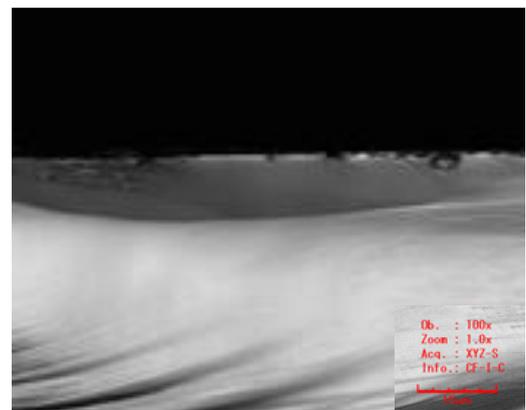


図 4.試験片破断面の観察結果
(切欠き深さ: 6.571 μm, 予き裂導入荷重 50 N)