

単結晶シリコンウエハ主要面におけるき裂形状とその進展

Configuration of Surface Crack and Its Propagation on Main Surface of Single Crystal Silicon Wafer

長澤 祐太¹⁾, 古賀 由泰¹⁾
指導教員 立野 昌義²⁾

- 1) 工学院大学大学院 工学研究科機械工学専攻
- 2) 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, 表面き裂

1. 緒言

単結晶シリコンウエハは半導体プロセスが適用できることからマイクロサイズの機械要素や構造体への用途への適用が期待されている¹⁾. 単結晶シリコンウエハは脆性材料であり, 結晶方位異方性を有している²⁾ことから, 結晶面上に形成される表面き裂とその進展挙動を把握することは強度特性を把握する上で重要である. 破壊じん性値を評価する際には, き裂形状の他に試験片形状および欠陥を導入する際の表層部残留応力などの強度や変形挙動が関連する³⁾. こうした背景もあり, 破壊特性評価法に関しては様々な方法における破壊じん性評価方法を確立しておく必要があると考えられる. 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ると考えられる.

破壊じん性を評価する方法には, 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⁴⁾がある. この方法は試験片表面に導入した人工的な表面き裂を予き裂発起点として板厚方向に貫通予き裂を導入できる試験法⁴⁾として知られている. この方法では, 圧痕生成に伴う残留応力の影響を無視できるとされ, 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

法として適用されている. 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する必要がある.

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き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発生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. 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したのち, 破壊靱性評価を行う.

2. 実験方法

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, DAD522) にて短冊状試験片を用いた.

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, MMT-1) を用いて試験片の中央にダイシングマシンによる切り欠きおよび Knoop 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.

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) Knoop 圧子による表面き裂を導入 (Fig. 1) した試験片を対象に圧縮荷重を加え (Fig. 2), 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, 三点曲げ試験を行い, レーザ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, 切欠きおよび Knoop 圧子による表面き裂が導入された鏡面を下に, き裂の位置が上下支点間中心に重なるように設定した. 予き裂形状の計測には, レーザ顕微鏡 (株式会社オリンパス, OLS3000) による観察画像を用いた. 上記から得られる破壊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} を算出した.

3. 実験結果および考察

切り欠きを導入後に予き裂を導入した実験結果について下記の結果が得られた.

ダイシングマシンにて切り欠きを導入した後, Fig. 2 に示す治具を用いて, 切り欠き底部よりき裂進展における様子の確認を試みたところ, 治具を介して試験片への圧縮荷重条件が 50N 未満では, き裂が切り欠き溝角部から斜進するなど, 予き裂をへき開面上に生成させることはできなかった. このことから, 今回実験に用いた条件では, 切り欠き底部からのき裂が進展した様子の判別は困難であった.

予き裂進展の応力集中源としてへき開面上に導入した人工き裂は表面直下で半楕円形状となることが確認できた. Fig. 2 の治具を用いて圧縮荷重を負荷することで, この人工き裂を開口する方向の力を負荷し, 人工き裂の変化の様子を確認した. なお人工き裂の様子は, 治具を介して圧縮荷重負荷直後に実施する曲げ試験により破断した試験片の破断面観察を行うことで確認した.

この結果から, 人工き裂形状とき裂開口方向に負荷後のき裂進展条件との対応関係を明らかにした. この結果より, Knoop 圧子による人工表面き裂を導入により, 人工欠陥の進展および予き裂の生成の可能性を評価する上で重要なデータを得た.

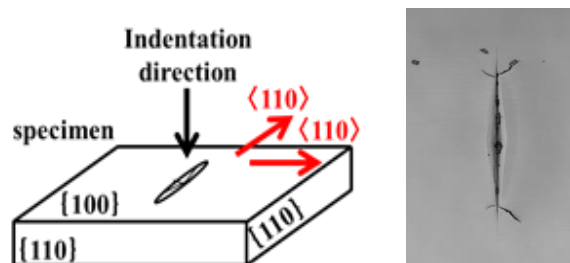


Fig. 1 Knoop introduction direction

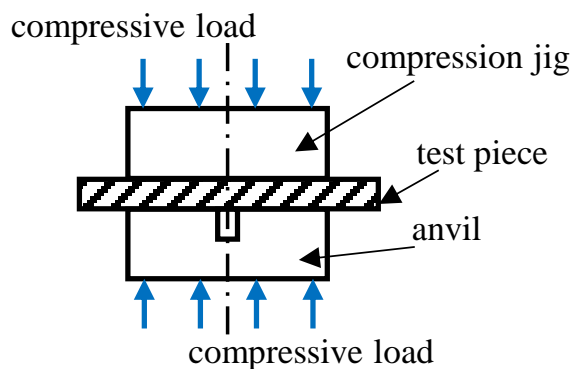


Fig. 2 Pre-cracked Introduction Tool

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の適用性を検討する上で, 人工欠陥の進展および予き裂の生成の可能性を評価する上で重要なデータを得た. 今後は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.

5. 参考文献

- 1) Yudai SHIROKI, Kazuki IIDA, Satoshi SUTO, Masayoshi TATENO, Effects of temperature conditions on fracture toughness of single crystal silicon wafer, Mechanical Engineering Journal, Vol. 6, No. 4, (2019), pp. 1-8
以下省略