

単結晶シリコンウエハにおける表面き裂とその進展評価の検討

Investigation of Surface Cracks and Its Propagation on Single Crystal Silicon Wafer

長澤 祐太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，破壊靭性値，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。破壊特性評価法に関しては様々な方法における破壊靭性性評価方法を確立しておく必要があると考えられる。

破壊靭性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靭性試験方法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こととされ、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靭性性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想定した小型試験片を対象として、試験片表面に垂直方向[100]からKnoop圧子を垂直に導入し、へき開面上(110)を[110]方向に進展する生じる表面き裂を導入した。この表面き裂を応力集中源として起点とし、表面き裂を開口する引張り応力を発生させる手法を検討する。その結果、予き裂発生の有無に及ぼす表面引張り負荷を与える上での試験条件の影響を明らかにしたのち、破壊靭性値評価への適用性などについて検討を行う。

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 $P = 980\text{mN}$ とした.

予き裂生成源として Knoop 圧子による表面き裂を導入 (Fig. 1 参照) した試験片を対象に圧縮負荷を加え (Fig. 2 参照), 予き裂の進展挙動を調査した. 圧縮荷重は $F = 600, 1000\text{N}$ と設定した.

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, 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 法による破壊靭性評価式に代入し K_{Ic} を算出した.

3. 実験結果および考察

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試験片表面に生じさせることを試みた.

人工き裂の進展する様子は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. 圧縮を負荷したき裂ではき裂深さが増加している様子を確認した. 圧縮荷重 1000N においては表面き裂を縦断するき裂進展 (Fig. 3 参照) も目視で確認できた.

以上の結果から, 初期き裂が進展する条件を明らかでき. 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.

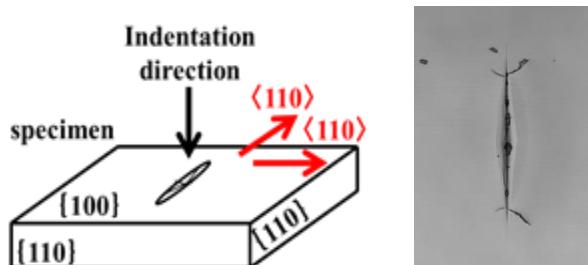


Fig. 1 Introduction direction

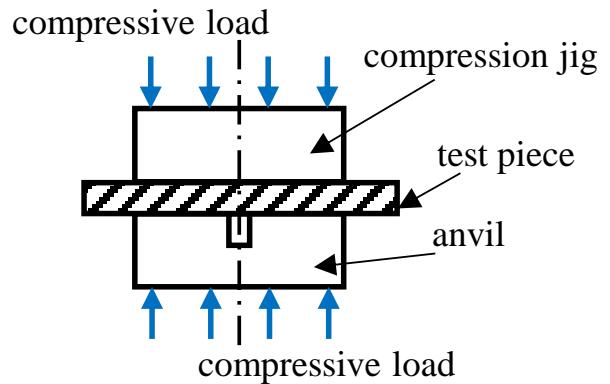


Fig. 2 Precracked Introduction Tool

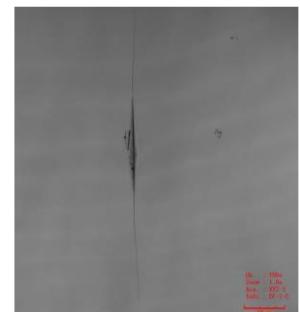


Fig. 3 Cracks after compression

4. 結論

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想定した小型試験片を対象として, 試験片表面に垂直方向 [100] から Knoop 圧子を垂直に導入し, へき開面上 (110) を [110] 方向に進展する生じる表面き裂を導入し, 表面き裂を開口する引張り応力を発生させる手法を検討した. その結果, 予き裂発生の有無に及ぼす表面引張り負荷を与える上での試験条件の影響を明らかにした. 今後は圧子圧入荷重の試験条件について明らかにし, 破壊靭性値評価への適用性などについて検討を行う.

5. 参考文献

- 1) Yuta NAGASAWA, Yoahiro KOGA, Masayosi TATENO, 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, 第 12 回大学コンソーシアム八王子学生発表会, No. Q115, (2020)
以下省略