

単結晶シリコンの破壊靭性値評価におけるき裂形態に関する基礎検討

Investigation of Crack shapes on Fracture Toughness of Single Crystal Silicon

山田 啓聖¹⁾, 今井 要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：単結晶シリコン，破壊靭性値評価，き裂形態

1. 緒言

単結晶シリコンは、半導体技術が適用可能であるため、微小構造体への材料として期待がされている。単結晶シリコンは脆性材料であり、き裂や割れによる破壊強度への影響が大きく、破壊靭性値を評価することが破壊予測に有効と考えられる。破壊靭性値評価の手法の一つとして、CSF 法 (Controlled Surface Flaw Method) が実績のある方法としてガラスなどの材料に適用される場合が多く、精度の高い破壊靭性値評価方法として有効な方法である¹⁾。これは、半楕円状き裂を起点として破壊試験を行うことで、得られた破壊強度や、き裂長さ、き裂深さなどの情報で破壊靭性値を算出する手法である。これらの評価方法では、強度特性、き裂形状の因子の他に、境界条件などの因子が関与する評価方法も提案され、上記の因子が評価結果に及ぼす影響を明確にしておくことも重要であると考えられる。

本研究では、まず導入する表面き裂深さは試験片厚さに対して十分に小さいと仮定しき裂の大きさを系統的に変えていくことで、生じる強度特性の変化について実験的に明らかにすることを試みた。また、試験片形状の依存性などについても考察を加えることを試みた。

2. 実験方法

2.1 試験片形状及び圧子圧入条件

単結晶シリコンウエハ（株式会社松崎製作所製、主要面{100}, OF{110}, 直径 50mm, 厚さ 0.300mm, 0.425mm）を、ダイシングマシン（株式会社ディスコ製、DAD522）を用いて、長手方向 11.5mm, 幅方向 5.0mm に切り出したものを試験片として用いた。圧子圧入条件は、圧痕導入荷重 $P=490.3\text{mN}, 980.7\text{mN}, 1961\text{mN}$ 、保持時間を 5sec とした。

2.2 破壊強度及び破壊靭性値の算出

ECR イオンシャワー装置（株式会社エリオニクス製、EIS-200ER）を用いて表面層の除去加工を行った試験片を 4 点曲げ試験を行い、破壊強度を評価した。破断面は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）を用いて、き裂長さ c 及びき裂深さ d を求める。観察結果と破断試験から求めた強度 σ_f を CSF 法評価式²⁾³⁾に代入して破壊靭性値を求めた。

$$K_{1C} = M\sigma_f \sqrt{\frac{\pi d}{\Phi^2}} \quad (1)$$

上式中は試験片表面に生じている欠陥を楕円近似した際の試験片に負荷荷重が作用した際の応力拡大係数を求める式であり、 Φ は第 2 種完全楕円積分であり⁴⁾、破断応力 σ_f を代入すれば破壊靭性値を

得ることが可能となる。

本評価では、導入する表面き裂深さは試験片板厚に対して十分に小さいと仮定したときの自由表面係数⁴⁾を用いた。上記式より、表面の効果のみを考慮に入れた破壊靭性値が算出可能となる。

ただし、脆性材料を評価する際には、自由表面における強度に及ぼす表面応力分布、負荷形式や試験片形状に依存することもあり、板厚の影響を考慮した評価を行うことを試みた。

3. 実験結果及び考察

主要面 {100} の単結晶シリコンウエハから切り出した試験片に、圧子圧入された後の圧痕頂角から進展しているき裂及び破断面上に形成されるき裂の代表例を図 1 に示す。この結果から、き裂長さは圧痕導入荷重に依存するが、おおむね 15μm~30μm の範囲に収まった。これらのき裂を半梢円状き裂と見なして、表面き裂長さ及びき裂深さを求めた。

観察結果から求められるき裂深さ d と破壊応力 σ_f の関係を図 2 に示す。図 2 には、CSF 法評価式から算出される見かけの破壊靭性値の代表例を示した。この図にはこの破壊靭性値の平均値を破線で示している。この結果に表面除去を十分に行った実験結果から得られる破壊靭性値を比較することで、圧子圧入後に導入された表面残留応力を予測可能となる。破壊靭性値の妥当性及び表面残留応力の依存性などの強度特性の評価について明確にすることを試みた。

4. 結論

本研究では単結晶シリコンウエハから切り出した試験片を用いて、き裂の大きさを系統的に変化させることで、生じた強度特性の変化について実験的に明らかにした。また、試験片形状などの境界条件に関しても考察を行った。

5. 参考文献

[1] 三好俊郎, 佐川暢俊, 佐々正 “構造用セラミックスの破壊じん性評価に関する研究” 日本機械

学会論文集 (A 編) 51, no.471(1985):2489-2497.

[2] 西川友三, 岡本泰則, 稲垣茂樹 “Mn-Zn フェライト単結晶の破壊靭性”, 窯業協会誌 91, no.1052(1983):149-156

[3] J.C.Newman, JR and I. S. Raju “An empirical stress-intensity factor equation for the surface crack” Engineering Fracture Mechanics 15, no.1-2(1981):185-192

[4] 芦塚正博, 清原秀樹, 石田英一, 桑原誠, 窪田吉孝, 月館隆明 “イットリア部分安定化ジルコニアにおけるビッカース圧子下のき裂形状と破壊靭性の評価” 窯業協会誌 94, no.1094(1986):1049-1055

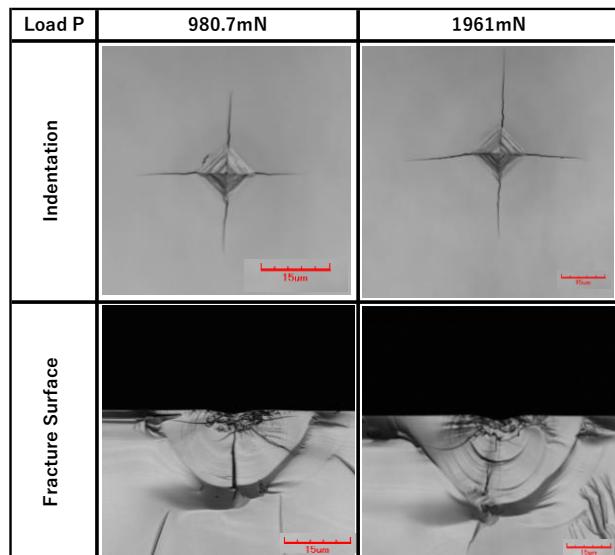


Fig.1 表面き裂及び破断面き裂の代表例
(t=0.425mm)

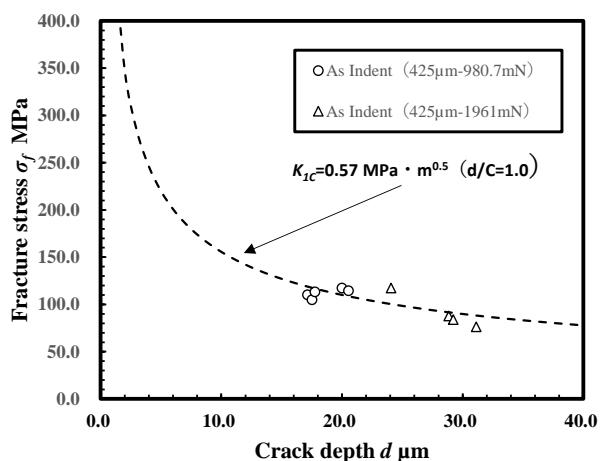


Fig.2 き裂深さと破壊応力