

単結晶 Si の低指数面におけるき裂形態と強度評価に関する基礎検討

Crack Shapes And Strength Evaluations in Single Crystal Silicon

原田 桂吾¹⁾, 山田 啓聖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, 破壊靱性値, き裂, 結晶方位

1. 緒言

単結晶シリコンは、原料が地球上に多く存在し、不純物を取り除いて高純度化しやすいことから、半導体材料として最小 nm 単位で微細加工が行われている。また、 μm レベルの機械構造であるマイクロマシン(微小構造体)の材料として期待されている¹⁾。しかし、単結晶シリコンに関する研究は主に電気的特性に関するもので、マイクロマシンを設計・製造し実用化するための実強度及び破壊予測などの機械的性質の評価方法は明らかにされていない²⁾。

単結晶シリコンは脆性材料であり、このような材料ではダイヤモンド製の Vickers 圧子を試験片表面に垂直に圧入し圧痕長さや圧痕頂点から進展するき裂長さを測定し評価する IF 法³⁾(Intentional Fracture Method)や圧子を圧入し、そこから破断させ破断時の荷重と破断面の圧痕により生じるき裂長さやき裂深さから算出する CSF 法(Controlled Surface Flaw Method)などを用いて⁴⁾破壊靱性値評価が行われる。

しかし、単結晶シリコンは結晶方位異方性を持ち、結晶面によって機械的性質が異なる。さらに原子同士の結合力の弱い面に沿って割れるへき開という性質もあり、主要面とへき開面は図1のようになっている。これら結晶方位異方性効果が破壊靱性値にどのような影響を及ぼすのかは明らかにされていない。

本研究では主要面の一つである(110)面を対象

に IF 法, および CSF 法を適用し, き裂形態の観察とそれぞれの破壊靱性値を比較, 主要面における破壊靱性値評価方法に関する検討を行った。

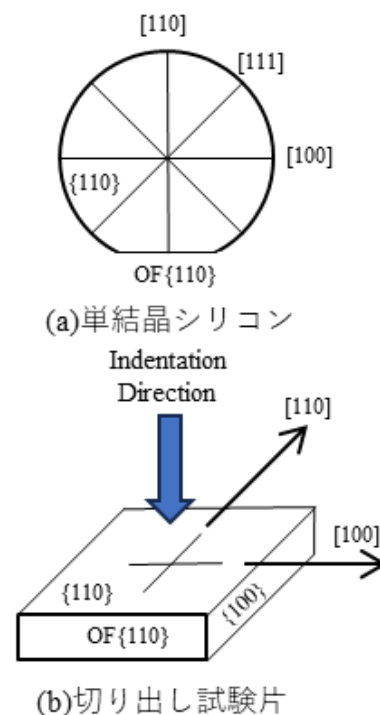


Fig.1 単結晶シリコンの主要面(110)とそのへき開面

2. 実験方法

本実験では単結晶シリコンウエハ(株式会社松崎製作所製)を用いた。用いたシリコンウエハの主要面は(110)であり、これをダイシングマシン(ディスク株式会社製 DAD-552)を用いて縦 5.0mm, 横

11.5mm, 厚さ 0.35mm の試験片に加工, 主要面かつ試験片中央に Vickers 圧子を荷重 0.98N で垂直に押込んだ。この時, 圧痕の対角面が基準面の 0F 面 (110) に沿うように圧痕を導入するように試験片と圧子との位置関係を調整した。圧痕の対角線は直交し, 圧痕頂角から進展するき裂がほぼ対角線上にき裂が進展することを確認した。この圧痕および表面き裂の情報から, それぞれの面を切り裂く方向の破壊靱性値を, IF 法を用いて評価した。

セラミックスなどの脆性材料で実績のある IF 法評価式⁵⁾⁶⁾を用いて破壊靱性値 K_c を算出した。

圧痕対角長さおよびき裂の寸法に関しては, レーザー顕微鏡(オリンパス株式会社製 OLS3000)の計測モードを用いて測定した。これらの結果を他の破壊靱性評価方法で得た結果と比較することを試みた。

3. 実験結果と考察

主要面(110)に圧子導入後に形成される圧痕および圧痕頂角から進展する表面き裂の画像の代表例を図 2 に示す。

図 2 から, 圧痕対角長さは直交し, 表面き裂は圧痕対角線に沿って進展している様子が確認できる。このときの水平方向の圧痕対角面は基準面となる(110)に合わせたことから, 横方向の表面き裂は(110)に沿って, それに直交する表面き裂は(100)に沿ったき裂であると推測される。

この画像から, 水平方向のき裂が縦方向のそれよりも長いことが確認できた。これは, 横方向のき裂が単結晶シリコンのへき開面に対応したことから推察される。これらの画像から圧痕対角長さおよび表面き裂長さを測定し, 各方向の K_c を IF 法評価式から求めた。この結果の妥当性を評価する上で, き裂形態の把握が重要になるため, 圧痕直下に形成されるき裂形態を把握することを試みた。さらにこの結果に基づき, 破壊力学的評価方法との結果を比較することを試み異方性に関する考察を行った。

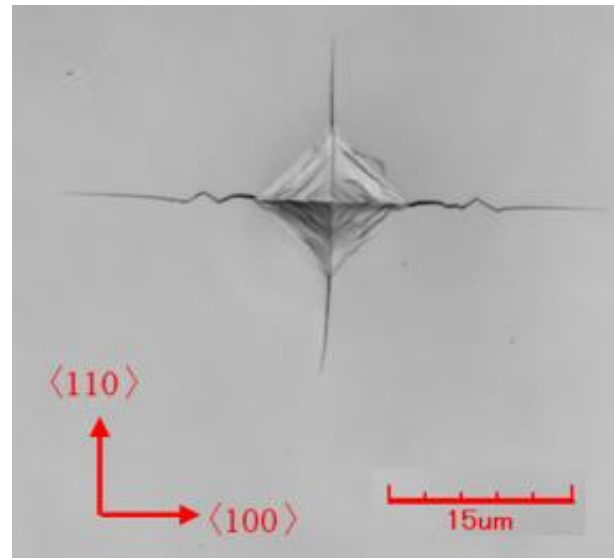


Fig.2 主要面(110)における表面き裂

4. 結論

単結晶シリコンの低指数面である(110)の破壊靱性値を IF 法および CSF 法を用いて評価し, 結晶方位異方性効果の影響の考察を試みた。

5. 参考文献

- 1) 土屋智由, MEMS の機械的信頼性, 日本信頼性学会誌, Vol27, No2, pp.105-112(2005)
- 2) 土屋智由, MEMS 用材料の力学的特性評価, 日本信頼性学会誌, Vol111, No1077, pp.84(2008)
- 3) [JISR1607:2015 ファインセラミックスの室温破壊じん\(靱\)性試験方法 \(kikakurui.com\)](https://www.kikakurui.com/), アクセス日 2023 年 7 月 8 日
- 4) 林 國 郎, 辻 本 真 司, 岡 本 泰, 西 川 友, 単 結 晶 Si の 破 壊 じん性, 材料, Vol,40, No451, pp.405-410(1991)
- 5) D.B. Marshall and A.G. Evans, *ibid.*, 64, C-182 (1981).
- 6) K. Niihara, R. Morena and D.H.H. Hasselman, *J. Mater. Sci. Lett.*, 1, 13 (1982)