

単結晶シリコンにおける強度特性の異方性効果

Anisotropy on Strength Characteristics of Single Crystal Silicon

原田 桂吾¹⁾, 山田 啓聖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

単結晶シリコンは結晶面によって機械的性質が異なる結晶方位異方性および原子同士の結合力の弱い面に沿って割れるへき開性を持つ。本研究では単結晶シリコンウエハを対象にへき開面及びそれに直交する方向にき裂を導入し、強度評価を実施した。この結果に基づき強度に対する異方性効果の明確化を試みた。

キーワード：単結晶シリコン, 破壊靱性値, き裂, 異方性効果, 低指数面

1. 緒言

単結晶シリコンは破壊に至るまでに塑性変形することなしに脆性的に破壊する材料に分類されている。このような脆性材料における強度評価においては、負荷に対するき裂の進展抵抗を示す破壊靱性値を用いての評価が求められている。破壊靱性値評価には様々な方法が提案され、代表的な方法に圧子圧入法(Indentation Fracture Method : IF 法)および CSF 法(Controlled Surface Flaw Method)と呼ばれる手法がある。IF 法では, Vickers 圧子と呼ばれるダイヤモンド製の先端が鋭利な形状を有する圧子を試験片表面に垂直に圧入することで得られる圧痕対角線長さと圧痕頂点から進展するき裂長さに基づき破壊靱性値 K_{IC} を求めることができる¹⁾。CSF 法では, Vickers 圧子などを意図的に導入することで半楕円形を有するき裂を圧痕直下に形成され, そのき裂を応力集中源として破断させたときの破断強度と破断面から観察される破断面き裂形状から破壊靱性値 K_{IC} を算出できる²⁾。

特に, 単結晶シリコンは結晶方位異方性を持つことから, 結晶面によって機械的性質や強度特性が異なることや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る³⁾ことから, き裂進展挙動や強度特性の結晶異方性を適切に評価することが求められている。

本研究では単結晶シリコンの代表的な低指数面

として $\{100\}$, $\{110\}$, $\{111\}$ を対象として, IF 法にてへき開面 $\{110\}$ とそれに直交する面の破壊靱性値 K_{IC} を求めた。さらに IF 法結果の妥当性を評価するために, CSF 法を用いて, IF 法にて評価した各面方位における破壊靱性値を算出し, 両者を比較した。一連の結果に基づき, 低指数面におけるき裂形態と強度評価に対する異方性効果を明らかにすることを試みた。

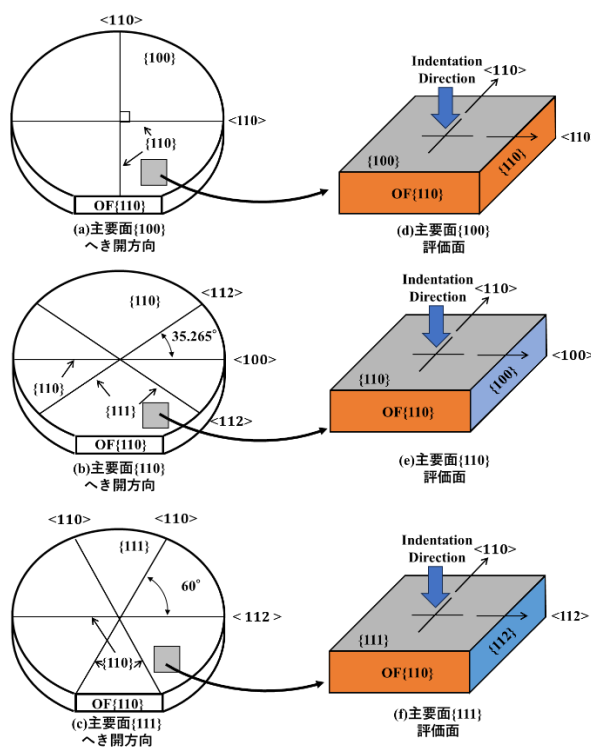


Fig.1 単結晶シリコン低指数面における評価面

2. 使用材料と実験方法の概略

本実験では単結晶シリコンウエハ(株松崎製作所:直径 50mm,厚さ 0.30mm 及び 0.35mm)を用いた. このウエハの主要面は $\{100\}$, $\{110\}$, $\{111\}$ の3面とした. ウエハの面方位を示すために形成された平面OFはいずれも $\{110\}$ 面であり,この面を基準として各ウエハから短冊状の試験片を切り出した. 試験片の切り出しは,ダイシングマシン((株)ディスコ:DAD-552)を用い,短冊状試験片:縦 5.0mm×横 11.5mm を切り出した. 評価面の概略図を図1に示す.

IF法では,0.98Nの条件でVickers圧子を水平に配置した試験片に対して垂直に押し込んだ(試験回数 25). この時の圧痕の対角角がへき開面およびそれに直交する面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,主要面に形成される圧痕と圧痕頂角から進展したき裂を測定することで K_{IC} を求めた.

CSF法に関してのき裂導入に関しては,Vickers圧子またはKnoop圧子を用いた. その後,表面除去を行い,圧痕周辺に形成される残留応力を除去した上で圧痕直下に発生したき裂を起点に四点曲げ試験を行い破断させた. なお圧子圧入荷重はIF法およびCSF法から得た破壊靱性値を評価するため同一条件とした. 事前検討で,CSF法における圧痕直下に形成されるき裂形状が半楕円形状を有する荷重条件および圧痕周辺に生成される残留応力を除去する上での適正条件を明確化している.

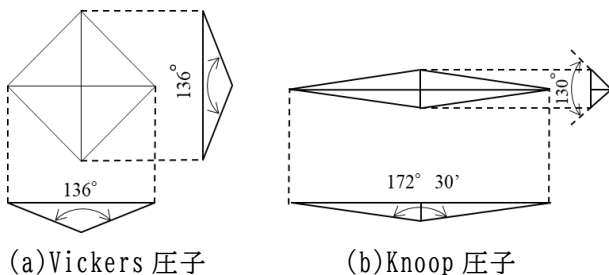


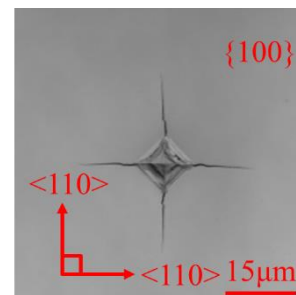
Fig.2 圧子形状

3. 実験結果と考察

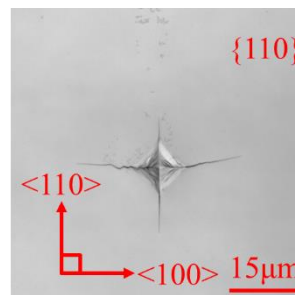
各低指数面に圧子導入後に形成される圧痕および圧痕頂角から進展する表面き裂の画像の代表例を図3に示す. $\{100\}$ および $\{110\}$ 面では圧痕対角長さが直交する. $\{100\}$ 面に形成される圧痕と圧痕頂

角から進展する水平および垂直方向に進展するき裂は対称形状となり,その一方で面 $\{110\}$ ではへき開面に沿った面(水平方向に進展)上に形成されるき裂が直交するき裂 $\{100\}$ に対してより長く進展したことが確認できた. 一方 $\{111\}$ 面では $\langle 110 \rangle$ 方向に進展したき裂が $\langle 112 \rangle$ 方向のき裂と直交しなかった. 圧子導入後の表面き裂観察結果から各主要面におけるき裂の進展挙動の特徴を確認できた.

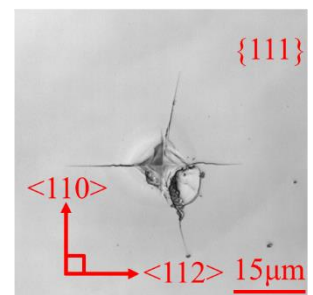
この結果に基づき各方向の K_{IC} をIF法評価式から求め,IF法に基づく K_{IC} の結晶異方性を明確にできた.ただし,このIF法結果の妥当性を評価するためにCSF法で得られた K_{IC} との結果を比較した.あわせて,イオン結合性の強い単結晶の低指数面の K_{IC} と破壊エネルギーとの関連から導かれる関係式に基づき考察を行った.



(a) $\{100\}$ 面



(b) $\{110\}$



(c) $\{111\}$ 面

Fig.3 各面における圧痕形状と表面き裂

4. 結論

単結晶シリコンの各低指数面の破壊靱性値をIF法およびCSF法を用いて評価し,き裂形態と強度評価における結晶方位異方性効果の影響を明らかにした.

5. 参考文献 省略