

# X線トポグラフィ法によるSi結晶の歪の分布の評価

## Evaluation of Strain Distribution in Silicon Crystals by X-ray Topography

坂 貴 (大同大学)

Takashi SAKA, Daido University, Takiharu-cho 10-3, Minami-ku, Nagoya 457-8530

著者はバルクシリコン結晶に導入されたマクロ的な微小歪を極めて高感度に検出する方法を提案した<sup>1-4)</sup>。この方法では対称ラウエの条件で垂直に設置された結晶を反射面に垂直な軸の回りに回転( $\phi$ -回転とよぶ)させることにより、湾曲あるいは捩れによる僅かな歪を検出することが可能である。結晶が一様に湾曲あるいは捩れている場合、垂直の状態では回折強度は歪の影響を受けないことが知られている。一方、 $\phi$ -回転させると、歪の影響により回折強度の増大が観測された。さらに、結晶の回転方向を反転させると回折強度が異なることが観測された。観測された回折強度のこれらの特徴的な変化は、結晶が結晶表面内の1つの軸の回りに一様に湾曲かつ捩れていると仮定し、歪んだ結晶に対するX線の動力学的回折理論を適用することにより、詳しい説明が与えられた。今回、この方法を Micro Electro Mechanical Systems に用いられるSi結晶に応用した。特に歪の空間分布を調べるために、回折トポグラフィ法を用い、この方法が歪の局所的な集中を簡便に検出することの有効であることを確認した。

試料の形状を図1に示す。試料は全体を囲むフレームと中央のミラー、およびそれらを連結する2本のヒンジからなる。ヒンジは厚さ100 $\mu\text{m}$ のSiであり、フレームとミラーはSi(100 $\mu\text{m}$ )/SiO<sub>2</sub>膜/Si(300 $\mu\text{m}$ )である。試料は市販の張り合わせたウェハより加工された。なお、今回の試料は歪集中を顕著にするため、意識的にミラーおよびフレームとヒンジの結合部分が直角に加工されている。試料表面は(001)面であり、ヒンジに垂直に(110)面が存在する。

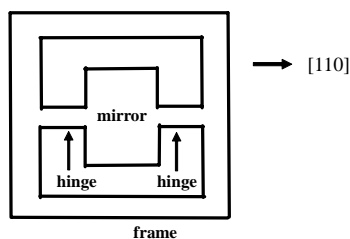


Fig. 1 Schematic image of the specimen

用いたX線発生装置および回折計はRIGAKU製ATX-Gである。加速電圧は50kV、管電流は300mAでターゲットは銅である。ターゲットから発生した特性X線は多層膜反射鏡により集光されたのち、幅1mm、高さ0.5mmのスリットにより微小化されて回折計に導入され試料を照射する。用いた反射は220反射である。 $\phi = 0^\circ$ の試料が垂直な状態と、試料を(220)面に垂直な軸の周りに $\pm 30^\circ$ 傾斜させた状態で観察した。回折像はイメージングプレート(IP)に撮影した。IPの分解

能は25 $\mu\text{m}$ である。

観測された回折トポグラフィ像を図2に示す。図2(b)では試料は垂直に設置されており、 $\phi = 0^\circ$ である。図2(a)および(c)は、それぞれ $\phi = -30^\circ$ および $\phi = 30^\circ$ に対応する。いずれのトポグラフィ像でもヒンジ以外のほとんどの部分は300 $\mu\text{m}$ 厚のSiによる吸収によりX線が透過できず、強度は観測されていない。そのため、ヒンジ部の強度を議論する。

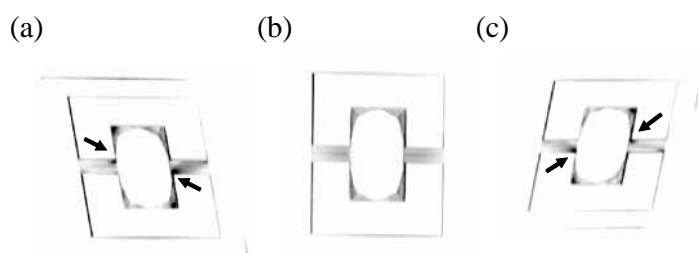


Fig. 2 X-ray topographs at  $\phi = -30^\circ$ (a),  $0^\circ$ (b) and  $30^\circ$ (c).

$\phi = 0^\circ$ においては、強度は緩やかな変化が観測されたが、ほぼ均一である。強度の変化は裏面に蒸着されているAl電極の影響であると考えられる。また、ヒンジとフレームの付け根で強度が弱くなっているのは、試料全体が湾曲しているため、ブラッグ条件から少し外れているためである。一方、 $\phi = \pm 30^\circ$ においては矢印で示す様に、ヒンジとミラーあるいはフレームとの付け根の対角するコーナーにおいて、顕著な回折強度の増加が観測された。さらに特徴的な点は、 $\phi$ -回転の正負により強度が増大する付け根が異なっている。すなわち、それぞれの付け根において回転方向により強度が変化する。これは試料の歪により吸収係数の大きさが $\phi$ の正負で異なるために観測される特徴である<sup>1)</sup>。

観測された強度分布から歪分布を求めるには、歪のモデルを仮定し、それによる回折強度の変化を計算する必要がある。極めて粗い近似での簡単な見積もりを行なった。図2(a)において、矢印の部分はほかの部分と比較して強度が $\sim 2$ 倍になっている。この部分が局所的に一様に湾曲していると仮定すると曲率半径は $\sim 2\text{m}$ であり、捩れていると仮定すると単位距離あたりのねじれ角は $\sim 1\text{rad/m}$ である。本解析法により応力集中による素子の破壊機構が解明され、信頼性の向上に繋がると期待される。

### 参考文献

- 1) T. Saka: J. Appl. Crystallogr. **36** (2003) 249-254.
- 2) T. Saka: Japan. J. Appl. Phys. **43** (2004) 841-842.
- 3) T. Saka: J. Appl. Crystallogr. **38** (2005) 958-963.
- 4) T. Saka: phys. stat. sol. (a)**204** (2007) 2633-2637.