

# X線トポグラフィから見たシリコン単結晶の完全性

川戸清爾

九州シンクロトロン光研究センター

シリコン単結晶は無転位化が図られて久しく、大直径化が進められるとともに as-grown 結晶中の微小欠陥の制御、不純物濃度分布の低減化へと技術課題が移り、それに伴って様々な評価技術の高精度化が進んだ。X線トポグラフィも単結晶中の格子欠陥を観察する手法として、1960年代から実験室系装置が有効に使われてきたが、1980年代以降は放射光X線トポグラフィ(1)がその役割を果たすようになった。

本講演では、放射光X線が利用できるようになってから実現した as-grown シリコン単結晶中の微小欠陥の検出(2)、不純物濃度分布の精密測定(2)、大直径ウェーハ表面の加工歪みの評価(3)など、測定技術の発展と観察例を紹介する。歪みの検出感度を向上させるためになされた、モノクロメータ、コリメータ用シリコン単結晶の選択、精密測定技術のノウハウなどについても触れたい。平行度が高く、均質で、大きなX線ビームの形成技術は、X線トポグラフィの分野だけでなく、干渉計やDEI法を用いるX線位相イメージング(CTを含む)の分野でも、高解像度を得たいときに必要となる。ここで示す実験データは10年以上前のものであるが、その後この分野の研究発表はないので、参考となれば幸いである。

最後に、シリコン結晶の完全性についての見解を述べる。エレクトロニクス立場では、結晶の完全性がデバイス特性に影響がある場合に研究は進む。例えば、画像デバイス(CCD)の開発では、無欠陥エピタキシャル・ウェーハの採用で決着し、MOSデバイスのゲート酸化膜絶縁耐圧劣化はCOPフリーを目指した結晶育成条件の最適化、ないし追加熱処理で一応の解決を見た。現在の課題については、大直径ウェーハにおける均質性、反りの抑制以外については、部外者なので窺い知れない。

X線光学素子の立場では、トポグラフィ用のモノクロメータ、コリメータは、Siの欠陥観察には、結晶の品質/表面加工とも不十分。試料がSi以外の単結晶であれば、ほとんど問題はない。位相イメージングに使う光学素子としては、狭い視野で高い解像度を求めなければ、ほとんど問題ないレベル。しかし解像度の改善や、広い視野を得たいとなると、結晶の品質、表面加工とも不十分。対策として考えられることは、不純物濃度むら(ストリエーション)が気になるなら、エピタキシーを使う。目標は、「厚い基板上への無欠陥エピタキシー技術の確立」である。現状の結晶性で我慢するなら、画像処理で邪魔なイメージを消す。それにしても厚く大きい結晶表面の無歪み加工技術の確立が望まれる。平坦性ではなく、局所歪みフリーが必要なのである。

(1) 川戸清爾:日本結晶学会誌 **54** (2012) pp. 2-11.

(2) S.Kawado: Jpn. J. Appl. Phys. **38** (1999) Suppl. 38-1, pp. 520-525.

(3) S. Kawado *et al.*: J. Synchrotron Rad. **9** (2002) pp. 166-168.