

平行マイクロビームの半導体デバイスへの応用

松井純爾、津坂佳幸、横山和司、竹田晋吾、籠島 靖

姫路工業大学大学院理学研究科

1. はじめに

半導体結晶中の微小歪みは各種半導体デバイスの諸特性に悪い影響を及ぼすことはよく知られているが、試料結晶のどの場所にどのような内容の歪みが存在し、それらが結晶のどの部分までひろがっているのか、などの情報はほとんど得られていなかった。ここでは高輝度放射光を駆使して、ミクロンオーダーの局所歪みを 10^{-5} 以下の精度で測定するための平行X線マイクロビームの形成とその半導体結晶ないしはデバイスへの応用について紹介する。

2. 平行X線マイクロビームの形成

結晶中の $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度までの歪みをX線回折手法で測定するには、入射X線のビームの空間発散角を抑制しなければならない。さらにこの方法を局所歪みの測定に適用するためには、上記の発散角に加えてビームサイズの縮小化も図らなければならない。一般にX線ビームは、その発散角を小さくすると逆にビームサイズを小さくできないという物理限界があるので、これらの双方を意味のある数値にまで達成するにはX線光学系に特別の工夫が必要である。

ここでは図1に示すように、(001)表面を持つSi単結晶の115 (+, -)非対称ブラッグ反射を、SPring-8放射光X線の両偏向方向に対してそれぞれ2回ずつ繰り返すことでビームサイズを縮小した。2方向ともサイズで $2 \sim 5 \mu\text{m}$ 程度、発散角を2秒 ($=10^{-5}$ ラジアン) に抑制した上、この平行X線マイクロビームに対して試料を相対的に走査することで試料表面近傍の格子歪みの一次元分布を測定した。

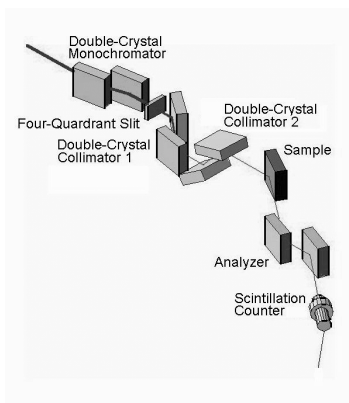


Fig. 1. Experimental set-up of the X-ray optics adopting successive asymmetric reflection of crystals for providing the parallel X-ray microbeam.

3. SiO_2 酸化膜エッジにおける Si 結晶歪み

シリコン酸化膜パターンはLSIにおける基本構造の一つであるが、 SiO_2 膜を局所的に乗せることで基板Si結晶に如何なる歪みがどのように分布するのかについての詳細な実測結果は少ない。

ここでは、上記のX線マイクロビームを、膜エッジを横断するように走査し、それぞれの場所でのX線ロックアップカーブを並べることで膜エッジ近傍での局所的な歪み分布を評価した。その結果SiO₂膜エッジに近いところでの強度曲線半値幅の広がり、ピークシフトとともにピーク強度が低下し、膜エッジ近傍でs結晶がどのように歪んでいるかが判明した。

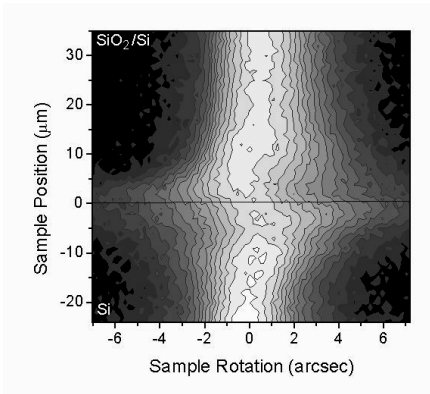


Fig. 2. Contour map of 004-reflection intensity in a series of the X-ray rocking curves taken from an area near the SiO₂ film edge. The vertical axis indicates positions of the sample irradiated by the X-ray microbeam.

4. SOI結晶の歪み

SOI結晶はデバイス領域に使用する表面Si層の下にSiO₂絶縁層があるので、寄生容量などの影響を軽減できる将来のLSI基板として注目されてきた。SOI結晶の作製には各種の方法があるが、中でも二枚のSi基板をSiO₂膜を介して高温で重ねる貼合わせ(bonded)Siが生産性の点でも重視されてきた。しかし通常のSi基板と一見変わらないこの基板は、中間層に圧縮応力を持つSiO₂層(BOX層)を含むので、表面Si層の歪みを上記の方法であらためて調べた。また、被検査結晶の後ろにアナライザ結晶を置いて測定される逆格子空間(q_x, q_y)におけるブラッグ点近傍の強度分布(逆格子マップ)から、ロックアップカーブのピークシフトとして現われる格子歪みが、格子面間隔変動と格子面傾斜変動のいずれに起因するかの解析を試みた。

その結果図3のように、ロックアップカーブに必然的に現われる2本のピークのうち、基板に対応するピークはビームの位置を変えても全く同じ角度位置に現われるのに対して、SOI層からのそれはピーク位置と幅が数十μmの間隔でゆらいでいるのが分かる。各位置での逆格子マップ

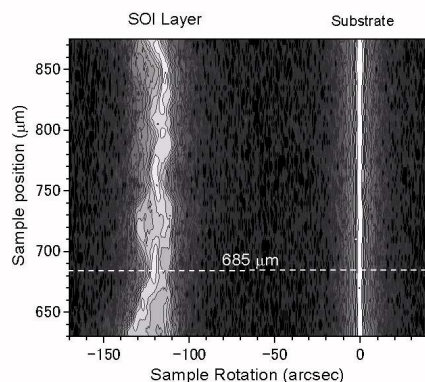


Fig. 3. Contour map of 004-reflection intensity in a series of the X-ray rocking curves taken from a 5-μm-thick SOI sample. The vertical axis indicates positions of the sample irradiated by the X-ray microbeam.

から、これらの内部歪みは主として格子面の傾斜に起因していることも判明している。