

## 新博士紹介

1. 氏名 木村 滋 (NEC  
マイクロエレクトロニクス研究所)
2. 論文提出大学 名古屋大学
3. 学位の種類 博士 (工学)
4. 取得年月 1994年3月
5. 題目 シリコン結晶における微小格子歪の  
X線トポグラフィによる研究
6. アブストラクト

単結晶中に含まれる格子欠陥や結晶の完全性を評価する方法として以前から用いられていた評価法の1つにX線トポグラフィがある。この方法は非破壊で実空間像が直接観察できるという非常に優れた特徴を有している。しかしながら、通常のX線トポグラフィの格子歪に対する感度は $\Delta d/d$ に換算して $10^{-5}$ 程度であり、空間分解能は撮影に使う原子核乾板の乳剤の粒子サイズに依存し、現在でも高々 $1\mu\text{m}$ 程度である。そのため、転位のように、 $\Delta d/d$ が $10^{-5}$ 以上ある歪領域が広い範囲に及ぶような欠陥の場合には有効であるが、点欠陥やそのクラスターのようないわゆる微小欠陥の観察は不可能と考えられていた。その理由は、微小欠陥により形成される歪は非常に弱く、その大きさが $1\mu\text{m}$ の範囲に及ぶ歪は $\Delta d/d$ で $10^{-5}$ にはるかに及ばないためである。

本研究の第1部では、X線トポグラフィにおいて発散角が0.01秒以下の平行度の高いX線束を入射X線として使用すると非常に小さい歪を検出することができることを示した。この観察法では、平行度の高いX線を用い、また、ブラッグ反射を透過法で測定すると振動的な回折強度曲線が現れることに注目した。回折強度曲線に現れる振動の角度幅は $10^{-6}$ ラジアン以下になるので、その $1/10$ 程度、すなわち $10^{-7}$ ラジアン以下のブラッグ条件の変化がコントラストの差として検出できることを利用したため、歪に対する感度は通常のX線トポグラフィより2桁の高感度化が達成され、 $\Delta d/d$ で $10^{-7}$ 程度の歪まで観察可能になった。その結

果、これまで観察不可能であったシリコン結晶中の微小欠陥が形成する格子歪を観察できるようになった。その例として、FZ法で育成したA欠陥を含むシリコン結晶、D欠陥を含むシリコン結晶、及び、CZ法で結晶を育成途中で融液から切り放すことにより急冷したシリコン結晶中に存在する微小欠陥の格子歪分布を初めて明らかにした。

また、X線は結晶内ポテンシャルとの相互作用が弱いために結晶への侵入深さが深く、結晶の表面層に対するX線トポグラフィは不可能であると考えられていた。本研究の第2部では、全反射の臨界角近傍まで入射X線の視射角を浅くするとX線の結晶への侵入深さを数10nmに制限できることに注目して、深さ数10nmの表面層の歪に非常に敏感なX線トポグラフィを開発した。この方法を用いてシリコンのメカノケミカル研磨表面の観察を行い、通常のトポグラフィでは全く観察されないような研磨歪による像を初めて観察した。また、シリコン結晶の(001)表面と(111)表面とでメカノケミカル研磨により導入される歪を比較し、(111)表面の方が歪が小さく、また、歪が発生している領域も浅いことを示した。更に、本研究で利用した非常に入射角が浅い非対称反射を取り扱うには従来無視していた鏡面反射の効果を正しく取り入れた動力学的回折理論を用いる必要があったため、その理論の信頼度を実験的に検証した。

本論文で述べたX線トポグラフィの技術はどちらも、シンクロトロン放射光の高強度と波長連続性の特長を活かしてはじめて可能になったものである。現在、半導体工業でその主役を担っているシリコン結晶の品質は非常に高い。そのため、従来のX線トポグラフィの評価法ではその評価限界を越えてしまっていた。しかしながら、ここで示した方法を用いることによりシリコンのような非常に品質の高い結晶を評価する道が開けた。今後、シンクロトロン放射光の発展とともに、ここで示した方法は益々の発展が期待できる。

(受付番号 94016)