

1. 放射光を利用したベルク・バレット法による pn 接合の逆バイアス電流リークの解析

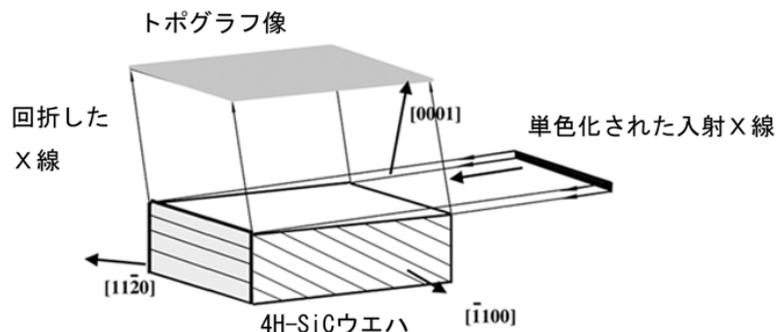
・本稿の目的

4H-SiC ウェハ中の転位密度の減少や、デバイスの生産技術の向上により、4H-SiC パワーデバイスも市販されるようになりました。しかしながら、歩留まりや、性能のバラツキの原因には、依然として各種の格子欠陥が関与していると考えられています。私たちはこれまでの NEDO プロジェクトで、X線や電子線を用いた格子欠陥評価を行い、問題の解析を行ってきました。本連載ではそれらの結果を整理し、補足説明を加え解説することを目的としています。

・X線トポグラフ法 (ベルク・バレット法) の特長

X線トポグラフ法は結晶中の転位などの格子欠陥を容易に観察することが可能な手法です。透過型電子顕微鏡法と比較すると、空間分解能では透過型電子顕微鏡法に劣るという欠点がありますが、観察用試料を作製する必要が無く、ウェハ全体、デバイスの内部全体を容易に観察することが可能です。私たちは、放射光施設を利用して、図 1 に示すベルク・バレット法と名付けられている斜入射のX線トポグラフ法を用いています。この方法では、ウェハ表面すれすれに X線を入射させるために、ウェハの表面近傍のエピ膜やあるいはデバイス部の格子欠陥のみを選択的に観察することが可能です。

図 1 放射光を用いた斜入射X線トポグラフ法 (ベルク・バレット法) の概略図



・pn 接合のリークとなる格子欠陥 : Al イオン注入プロセスとの関係

連載の 1 回目の話としてベルク・バレット法を用いて pn 接合の逆バイアス特性と格子欠陥との関連について解説します。pn 接合では逆バイアス時に大きな電流リークが発生する場合があります。pn 接合形成技術は FET を作製するための基本となる技術であり、この逆バイアス時の電流リークの原因を調べることは重要です。エピ膜成長により作製された pn 接合部の格子欠陥を X線トポグラフ法を用いて観察し、電流リークとの相関を調べました[1, 2]。電極とのコンタクト抵抗を下げるために、Al イオンを結晶表面より注入していますが、そのドーズ量を増やし、ある値を超すと電流リークを起こすことが分かりました。図 2(a)は高ドーズの Al イオンを注入した試料で電流リークを起こしている時のエミッション顕微鏡像を示しています。逆バイアスの電圧を増加させ、電流のリークが増大すると赤丸で示す局所的な位置で発光が観察されます。図 2(b)は同一試料をベルク・バレット法で観察した像です。エミッション顕微

鏡で発光が観察された位置は、トポグラフ像中に白丸で囲った貫通らせん転位の位置と一致します。これらの結果より以下の事が考察されました。pn 界面は深さ 2.4 μm の所にあり、Al のイオン注入層の深さは 0.4 μm までの位置です。Al のイオン注入では、狙った深さよりも、奥の深い位置まで点欠陥を発生させることが分かっています[3]。それらの点欠陥がアニールによって特定の貫通らせん転位部に吸い寄せられ、点欠陥濃度がそれらの周囲で上昇すると考えられます。また、それらの転位に沿って奥へ拡散し、電流リークを引き起こす可能性も考えられます。以上より逆バイアス時の電流リークを抑制するには、コンタクト抵抗を下げることを目的とした Al のイオン注入量を抑制することが示されました。さらに、図 2(b)では、これらの電流リークは全ての貫通らせん転位で同時に発生するのではなく、特定の貫通らせん転位で発生していることがわかります。実験を繰り返すと、再現性良く特定の貫通らせん転位で発生しています。

・貫通らせん転位の種類、転位の密度

貫通らせん転位には、バーガース・ベクトルの異なる 3 種類の転位が存在することが最近報告されています。一つは以前より知られている $\mathbf{b}=\pm[0001]$ 、貫通らせん転位と貫通刃状転位が反応し一本の転位になったもの $\mathbf{b}=\pm[0001]+1/3\langle 11-20 \rangle$ [4]、さらに大きなバーガース・ベクトルを持つ $\mathbf{b}=\pm[0001]+\langle 1-100 \rangle$ です[5]。ベルク・バレット法による観察ではこれらの貫通らせん転位の区別はつきません。3 番目の貫通らせん転位は巨大な刃状転位成分を含んでいます。このような転位の周りには結晶格子の大きな圧縮、引っ張り歪みが存在するため、各種の点欠陥を吸引しやすいという特徴を持っています。Onda らは逆バイアス時にリークを起こす貫通らせん転位は 3 番目のタイプの貫通らせん転位ではないかと考えています[5]。

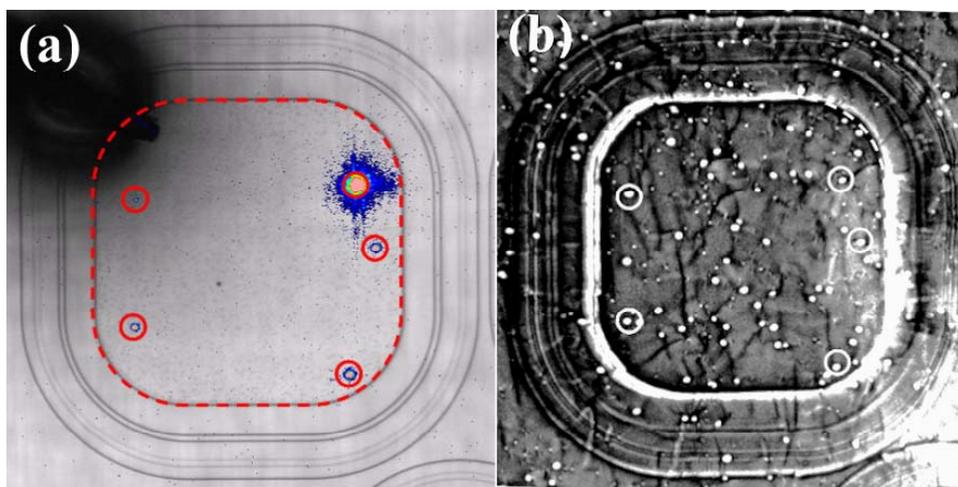


図 2(a) 560V、 10^{-4}A 以上の電流リーク時のエミッション顕微鏡像、(b)同じ試料のトポグラフ像

また、転位密度に違いのある複数のウエハより Si 面にエピ膜成長で pn 接合構造を多量に作製し、転位密度と pn 接合の逆バイアス特性との関係について統計的相関を調べました[2]。Al のイオン注入量は抑制しています。個々の pn 接合には、転位密度が低くても特性の悪いもの、転位密度が高くても比較的特性の良いものがあることがわかりました。しかしながら、統計的には、転位密度が高い pn 接合では、リーク電流、耐圧などの逆バイアス時の特性にばらつきが多くなり、また特性が悪くなることが確認され

ています。トータルの転位密度が高いと、統計的には $\mathbf{b}=\pm[0001]+\langle 1-100 \rangle$ のバーガース・ベクトルの貫通らせん転位が増えると推察され、特性のばらつきが増えるとも推察されます。以上より、特性の揃った **pn** 接合を作製するには、現在のところ転位密度の低いウエハを用いることが推奨されると結論されました。

[1] T. Tsuji, et al., Mat. Sci. Forum Vol. 645-648 (2010) p913-916.

[2] 小杉亮治：SiC 及び関連ワイドギャップ半導体第 4 回個別討論会予稿集(2009) p60.

[3] T. Mitani et al., Mat. Sci. Forum Vol. 600-603 (2009) p615-618.

[4] Y. Sugawara et al., Appl. Phys. Exp., 5 (2012) 081301.

[5] S. Onda et al., Philos. Mag. Letter 93 (2013) p439-447.