

## 2. 放射光を利用した X 線トポグラフィ法による MOS 構造絶縁破壊の解析

### ・目的

4H-SiC 結晶で MOS 構造の作製技術を確立するうえで、MOS キャパシターの歩留まりを低下させる因子を明確にすることは重要です。私たちは X 線トポグラフィ法を用いて MOS キャパシターの歩留まりと欠陥との関係を調べましたのですでに発表されている内容を報告します。

### ・MOS 構造絶縁破壊と転位の関係

複数のウエハベンダーから購入したエピ膜つきウエハの表面を熱酸化した後、金属電極を付け MOS キャパシターを作製しました。X 線トポグラフィ法（ベルク・バレット法）を使って MOS 構造下部の 4H-SiC の格子欠陥の位置を確認した後、MOS キャパシターの絶縁破壊実験を行い破壊位置と格子欠陥位置との関係を調べました。

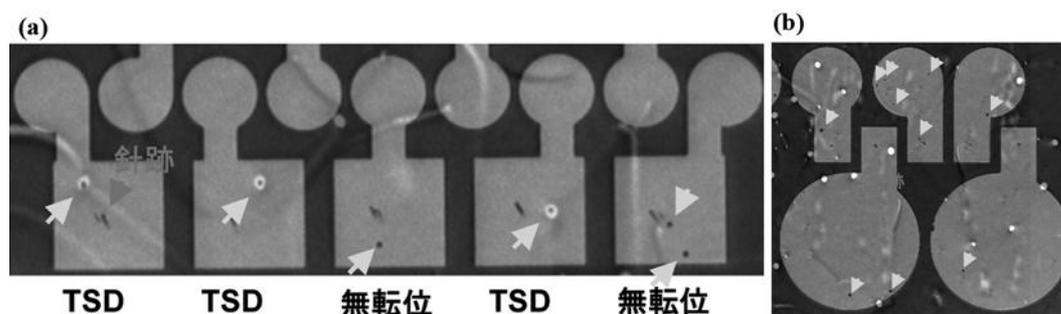


図 1(a), (b) 異なるベンダーから購入したエピ膜つきウエハより作製した MOS キャパシターの破壊痕の光学顕微鏡像と X 線トポグラフィ像との重ね合わせ。矢印は破壊痕の位置を示す。

図 1(a)のウエハでは 4H-SiC 結晶中の貫通らせん転位が SiO<sub>2</sub>/4H-SiC 界面で終端する位置で絶縁破壊が多く発生していることが分かります。この結果を見ると貫通らせん転位が絶縁破壊の原因のようにも見えますが、図 2(b)のウエハでは貫通らせん転位の位置では MOS 構造の絶縁破壊は発生していないことが分かります。市販の 4H-SiC エピウエハの表面を走査型電子顕微鏡で観察すると、図 2(a)に観察されるようなピットが貫通らせん転位の表面終端位置で観察されるものがあります。エピ膜表面にこのような凹凸が存在すると、図 2(b)で模式的に示すように、表面を熱酸化して作製された MOS キャパシターは、MOS 界面が平滑ではなく凹凸が形成されているため電界集中が発生し絶縁破壊に至ると考えられます。一方市販のウエハの中に、貫通らせん転位位置で図 2(a)のような深いピットが観察されないものがあります。これらのウエハでは図 2 (c) で模式的に示すように MOS 界面での凹凸が抑制されているので貫通らせん転位位置で絶縁破壊が発生しにくいことが分かりました[1]。MOS キャパシターの歩留まりを落とす第一の因子はエピ膜表面に現れる凹凸であることが確認されました。貫通らせん転位位置で観察されるピットの凹凸の程度は、ウエハベンダーやロットによっても異なることが分かりました。エピ膜成長の前処理の水素エッチングの条件の違い、エピ膜成長の条件の違いによりピットの周りの凹凸の程度が異なると推察されました。

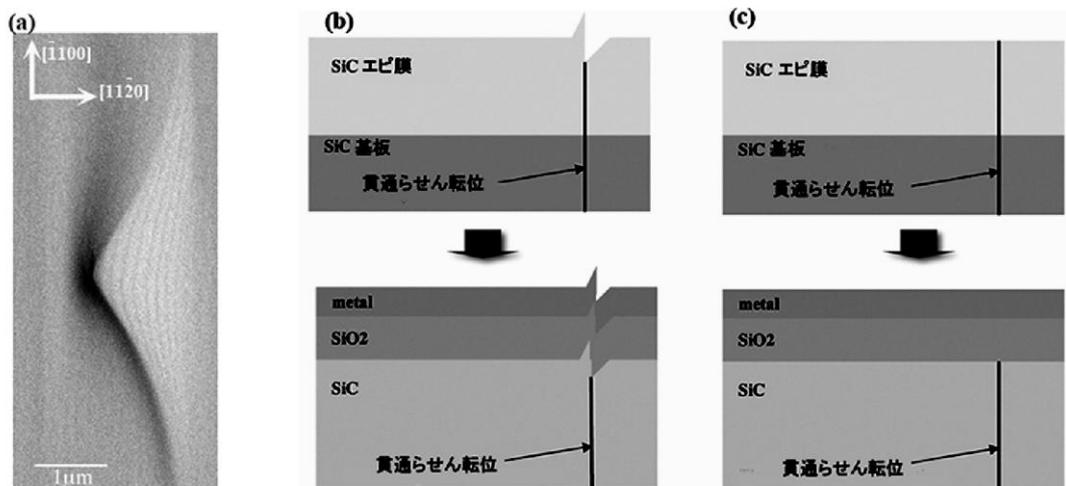


図 2 (a) 市販されているエピ膜つきウエハで観察された貫通らせん転位表面終端部に対応する位置の表面ピットの走査型電子顕微鏡像。(b)らせん転位位置にピットが形成されている場合の MOS 構造。(c)らせん転位位置のピットが浅い場合の MOS 構造の模式図。

### ・ MOS 構造絶縁破壊と表面欠陥の関係

エピ膜表面の凹凸は、エピ膜内部の格子欠陥と関連していることがあります。ベアウエハ中に存在する拡張幅の広い基底面転位の表面終端部はエピ膜成長に先立つ水素エッチング時に段差の大きなステップバンチングが発生することがあり、これにより表面凹凸を伴った表面欠陥がエピ膜成長により形成されることが観察されています。またバーシェイプ欠陥と呼ばれているフランク型積層欠陥のエピ膜表面終端部でも凹凸を伴う溝構造が発生しているところが観察されています。また、エピ膜成長後に現れる潜傷と呼ばれている現象により表面に凹凸が発生します。さらに、エピ膜成長により出現する界面転位の表面終端部の運動跡でも、エピ膜成長中にステップバンチングが誘発され、表面に凹凸構造が出現することが報告されています。これらのエピウエハ表面の凹凸構造はすべて MOS キャパシタの絶縁破壊を引き起こすことが報告されています[2-5]。エピ膜表面のこれらの凹凸の程度は水素エッチングやエピ膜成長の条件にも依存し、エピ膜つきウエハのメーカーによっても違いが存在しています。

またエピ膜に CMP を行い、表面を平滑化した後、熱酸化を行うと MOS キャパシタの歩留まりが向上することが報告されています[6]。

[1] T. Suzuki et al., Mat. Sci. Forum 717-720, (2012) 477-480.

[2] T. Yamashita et al., Mat. Sci. Forum 740-742, 694 (2013). and Mat. Sci. Forum 778-780(2014) 374-377.

[3] J. Sameshima et al., Mat. Soc. Forum 740-742, (2013) 745-748.

[4] O. Ishiyama, et al., Jpn. J. Appl. Phys. 53 (2014) 04EP15.

[5] H. Sako et al., Jpn. J. Appl. Phys. 53, (2014) 051301.

[6] K. Yamada et al., Mat. Soc. Forum 778-780, (2014) 545-548.