

実施課題番号：2005B0923

実施課題名：SPring-8 を利用したレーザ結晶化 Si 膜の結晶欠陥の解析

実験責任者所属機関及び氏名：(株)液晶先端技術開発センター 加藤 智也

使用ビームライン：BL39XU

1.はじめに

ディスプレイ業界において、低温多結晶 Si-TFT の高性能化は次世代技術の核となる課題であり、その中でも Si 膜の大結晶粒アレイ化に関する結晶化技術は、各企業、大学において大いに研究開発がなされている。しかしながら TFT を対象とした Si 膜の結晶欠陥評価については、その方法の難しさからほとんど報告例はなく、チャンネル内の欠陥が TFT 特性にどのような影響を及ぼすのか、定性的に推論するしかない状況である。本研究では、SPring-8 で開発が進められている硬 X 線光電子分光用装置 (HX-PES) を利用して、微細結晶 Si 膜と大結晶粒アレイ Si 膜で価電子帯の電子構造がどのように変化しているのか調べる。

2.実験方法

BL39XU の 2 結晶分光器で単色化して 8keV の励起 X 線とし、さらにバンド幅を小さくするために Si333 チャンネルカット後置分光器を挿入して得られた光源を用いて、HX-PES 測定した (全分解能は 270meV)。試料は位相変調エキシマレーザアニーリング (PMELA) 法により作製した、熱酸化膜付 Si 基板上の膜厚 100nm の、大結晶粒アレイ Si 膜 (500mJ/cm²) と微細結晶 Si 膜 (レーザエネルギー密度：400, 300, 250 mJ/cm²)、及び従来型のパルス発振のエキシマレーザを照射した (Conv.ELA) Si 薄膜 (200 mJ/cm² 及び 100 mJ/cm²) を用いた。単結晶 Si (s-Si) 及びアモルファス Si 膜 (a-Si) を標準試料とした。

3.実験結果と考察

3-1.各 Si 膜の結晶組織と結晶性

Fig.1 は HX-PES 測定に供した結晶化 Si 膜の SEM 写真である。500mJ/cm² で PMELA 結晶化した試料は 4 μ m 角相当の大結晶粒のアレイである。300mJ/cm² で結晶化した試料は粒径 100nm 程度、200mJ/cm² で結晶化した試料は粒径 30~40nm 程度である。

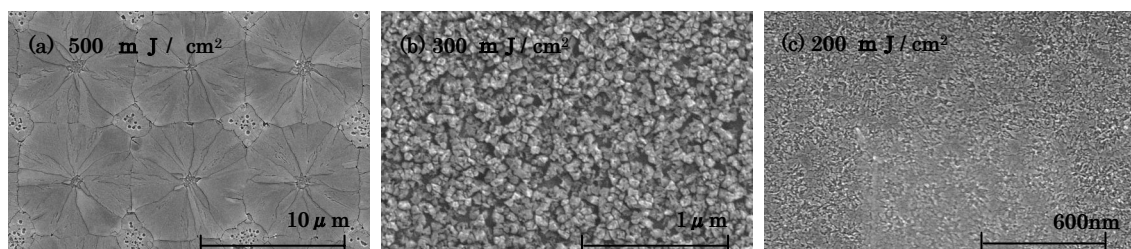


Fig.1 HX-PES 測定した結晶化 Si 膜の SEM 写真

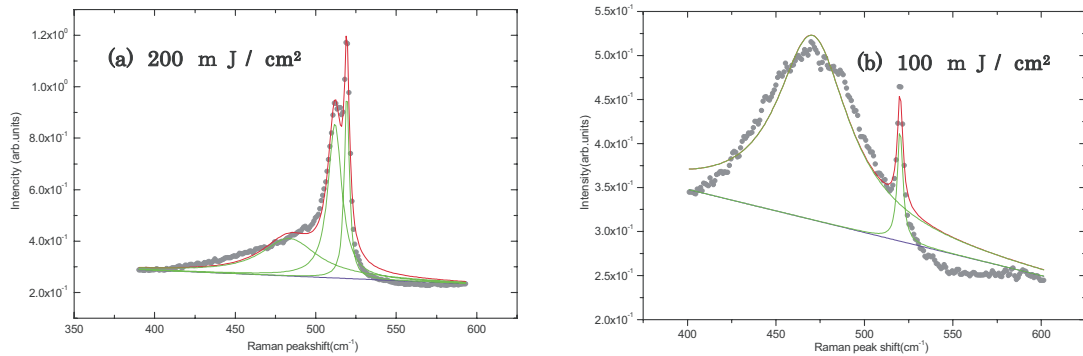


Fig.2 HX-PES 測定した Si 膜のラマン分光スペクトル

Fig.2 は Conv. ELA によりそれぞれ、 $200\text{mJ}/\text{cm}^2$ 、 $100\text{mJ}/\text{cm}^2$ でレーザー照射した試料のラマン分光スペクトルを示す。3つのピークは各々結晶化 Si (521cm^{-1})、極微細結晶 Si (514cm^{-1})、a-Si (480cm^{-1}) に対応する。 $200\text{mJ}/\text{cm}^2$ でレーザー照射した試料は、結晶化 Si のマトリックス中に a-Si を含む。 $100\text{mJ}/\text{cm}^2$ でレーザー照射した試料は、a-Si が主であり結晶化 Si をわずかに含む。

3-2. 各 Si 膜の XPS スペクトル

Fig.3 はそれぞれ、PMELA により結晶化した Si 膜と Conv. ELA によりレーザー照射した Si 膜の価電子帯の光電子スペクトルを示す。また Fig.4 は、Fig.3 のスペクトルのフェルミ・エッジ近傍を拡大したものである。

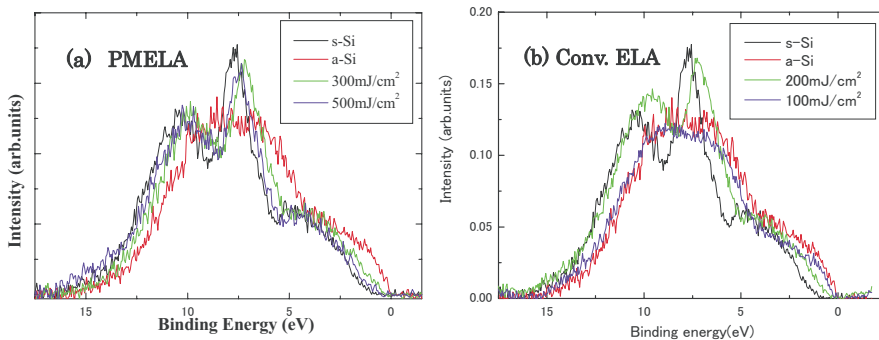


Fig.3 各 Si 膜の価電子帯の光電子スペクトル

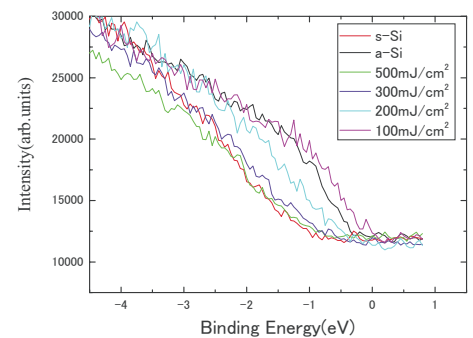


Fig.4 フェルミエッジ近傍

価電子帯のスペクトルは a-Si と結晶 Si とで形状が異なる。(a)の PMELA により結晶化した Si 膜と単結晶 Si (s-Si) とはほぼ同じ形状のスペクトルであり、結晶粒径による明確な差は見られないが、結晶化の際のレーザー光の入射エネルギーが大きくなり結晶粒径が大きくなると、高 Binding Energy 側にシフトする。Fig.4 のフェルミ・エッジ近傍のスペクトルは、a-Si から単結晶 Si (s-Si) まで系統的に変化している。これはフェルミ準位近傍の電子の状態密度が、Si 膜の結晶性あるいは結晶粒径により変化していることに対応するものと考えられる。

Fig.5はPMELA法により結晶化した各Si膜のSi1sスペクトルを示す。PMELAの際のレーザ光の入射エネルギー密度、すなわち結晶性あるいは結晶粒径によりピーク位置が系統的にシフトしている。

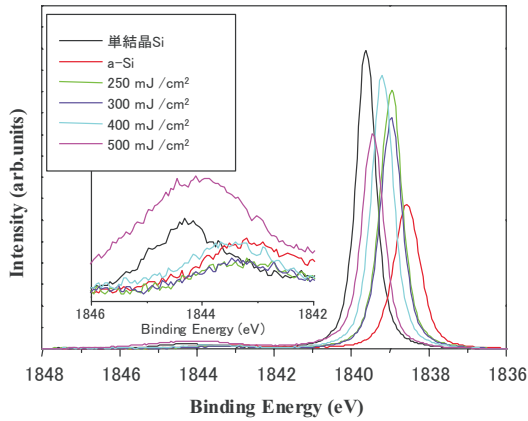


Fig.5 各Si膜のSi1sスペクトル

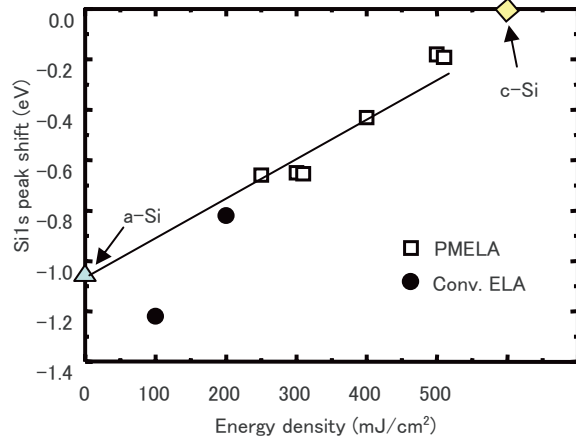


Fig.6 入射エネルギー密度とSi1sピークシフトとの関係

Fig.6はFig.5から求めた、PMELAの際の入射エネルギー密度と単結晶Siを基準としたSi1sピークシフトとの関係を示す。Conv.ELAについても示してある。入射エネルギー密度の増加、すなわちa-Siから結晶Siに、また結晶粒径が大きくなるに従い、Si1sピークシフト量が小さくなり単結晶Siに近くなる。Fig.7は各Si膜の電子状態を説明するエネルギー準位の模式図である。価電子帯(E_v)と伝導帯(E_c)の間にはアモルファスのフェルミ準位(E_f)が存在する。粒界がアモルファスから成るとすると、結晶粒径が大きくなると粒界面積が小さくなりフェルミ準位が単結晶の値に近くなると考えられる。従って、価電子帯やSi1sなどの内殻準位がフェルミ準位から離れ、スペクトルが高Binding Energy側にシフトする。また、これはキャリア密度の増加を示しているとも考えられる。

以上の結果は、各Si膜を用いTFTを作製したときに、粒界などの結晶欠陥が原因で電気特性が大きく異なることと関連していると考えられ、高性能薄膜トランジスタ作製のためのSi膜の評価方法として、電子状態を確認することができるHX-PESは、TFTを作製するときの電気特性を予想することができ有効である。

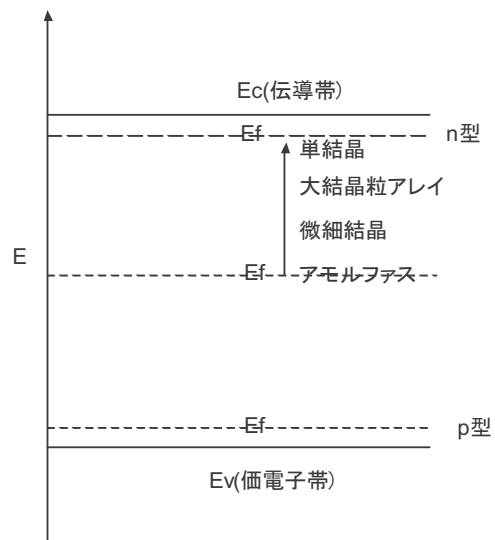


Fig.7 Si膜のエネルギー準位の模式図