

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博士（工学）	氏名	Hoa Thi Khanh Nguyen
学位授与の要件	学位規則第4条第①・2項該当		
論文題目			
<p>Investigation on the Mechanism of Millisecond Solid Phase Crystallization of Silicon Films Formed by Micro-Thermal-Plasma-Jet and Their Application to Bottom-Gate Thin Film Transistors</p> <p>(大気圧マイクロ熱プラズマジェット照射によるシリコン薄膜のミリ秒結晶化メカニズムの解明とボトムゲート型薄膜トランジスタへの応用)</p>			
論文審査担当者			
主査	教授	東 清一郎	印
審査委員	教授	寺本章伸	印
審査委員	教授	黒木伸一郎	印
審査委員	准教授	花房宏明	印
〔論文審査の要旨〕			
<p>本論文は絶縁体上のアモルファスシリコン (a-Si) 薄膜のミリ秒固相結晶化メカニズムの解明に関する実験的アプローチと、得られた知見に基づいたボトムゲート型薄膜トランジスタ (TFT) 作製プロセスへの応用に関する研究成果をまとめたものである。</p> <p>ガラス基板上で動作する TFT はフラットパネルディスプレイ (FPD) におけるキーデバイスのひとつであり、特に製造コストの観点からボトムゲート型と呼ばれる構造が広く用いられている。TFT を動作させるチャンネル材料に関しては従来アモルファスシリコンが用いられてきたが、電界効果移動度が $1 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ 以下と小さく、FPD 高精細化にはより高移動度な半導体チャンネル材料の導入が不可欠となっている。現在は酸化物半導体、特に酸化亜鉛をベースとした InGaZnO (IGZO) が注目されており、$10 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ 程度の移動度と極めて低いオフリーク電流といった利点が報告されている。一方、酸素欠損により電気伝導度を制御する同材料は製膜プロセス条件に敏感であり、極微量の水素混入による電気特性の変化と、光照射下での電圧印加による閾値シフトが大きな課題となっている。信頼性に優れた結晶シリコンをチャンネル材料に用いる研究は長年継続され様々な製膜技術が提案されているものの、低温プロセスでゲート絶縁膜直上に高結晶性シリコンを成長させることが難しく、要求移動度の目安である $20 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ を超える TFT 特性の報告は殆どない。</p> <p>申請者はこれまで報告がないミリ秒熱処理により a-Si を固相結晶化する手法に着目し、相変化メカニズムの解明および結晶性や電気特性の調査結果、更にボトムゲート型 TFT 作製によるデバイス特性について、以下の構成により報告している。</p> <p>第1章では本研究の背景として FPD 応用の現状および TFT の機能やその作製技術等の基礎事項、本研究で使用した大気圧プラズマ熱処理技術の概要や非接触温度測定技術、そして本論文の目的について述べている。</p> <p>第2章ではミリ秒熱処理における a-Si の温度変化と相変化を同時にリアルタイムで観</p>			

測する技術の提案および具体的実験方法について述べている。a-Si の屈折率が温度依存を持つことから、熱処理中の反射率変化を温度情報に変換すると同時に、ハイスピードカメラによる相変化過程の直接観察から、加熱速度、核形成温度、結晶化率の時間変化、結晶化時間、といった情報を得る手法について示している。

第 3 章では上記手法を実験に適用して得られた結果から、a-Si の加熱速度が 4.45×10^5 から 2.28×10^6 K/s へと上昇すると核形成温度は 985 から 1071°C へと上昇すること、古典的モデルに基づき新たに導入したミリ秒固相結晶化モデルによって結晶化率の時間変化を良く説明できること、その結果として予想される結晶粒径が示され、ミリ秒固相結晶化メカニズムについて議論されている。

第 4 章ではミリ秒固相結晶化により得られたシリコン薄膜の評価について述べられている。ラマン散乱分光法を用いた結晶性に関する評価、原子間力顕微鏡を用いた表面モロロジーの評価、平面透過電子顕微鏡観察 (TEM) を用いた結晶粒径の評価がなされ、更にホール効果測定を用いたキャリア密度、キャリア移動度といった電気特性に関する評価がなされている。第 3 章で予想された通り結晶粒径は 50 nm 以下と小さいものの、ホール移動度は $12.2 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ と比較的高い値を示し、ミリ秒固相結晶化シリコン薄膜が高い結晶性と優れた電気特性を有することが示されている。

第 5 章ではミリ秒固相結晶化シリコン膜をチャンネルに用いたボトムゲート型 TFT の作製プロセスおよび試作デバイスの電気特性が示されている。第 3 章のモデルおよび TEM 観察の議論から加熱速度が遅いほど結晶粒径はわずかに大きくなることが予想され、実際のデバイスにおいても加熱速度の低下により電気特性が大幅に向上することが示された。結果として $28 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ の電界効果移動度を有するボトムゲート型 TFT の作製に成功し、同条件で作製された TFT の移動度バラつきは $0.28 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ と極めて小さいことが示された。

最後に前章の研究成果に基づき本論文の結論を述べている。すなわち、ミリ秒時間における a-Si 薄膜の温度変化及び相変化過程の同時観察技術と固相結晶化モデルに基づき相変化過程を明らかにしたこと、この結果得られる結晶シリコンの粒径は加熱速度により制御可能であること、ミリ秒固相結晶化シリコン薄膜は比較的高い結晶性と電気特性を示すこと、ボトムゲート型 TFT に適用した場合にも比較的高い移動度および均一性を示すこと、以上によりミリ秒固相結晶化シリコンは FPD 応用における重要な材料の一つであること、である。

上記の通り、申請者は a-Si のミリ秒固相結晶化過程を独自の実験技術により明らかにし、デバイスに応用することで本技術の有効性を実証している。この成果は TFT 作製プロセス技術の発展において非常に重要な知見であると言える。

備考 審査の要旨は、1,500 字程度とする。