

## 論 文 要 旨

論 文 題 目 熱解析によるシリコン薄膜の結晶化機構の解明と  
薄膜トランジスタの特性変動に関する研究

今日、高度情報化社会の到来に伴い、情報端末としてのディスプレイの果たす役割がますます重要となって来ている。液晶ディスプレイや有機 EL パネルなどの他、さらに機能を搭載したシステムオンガラス (SoG) やシステムオンパネル (SoP) などの実現に向けて、駆動用素子としての薄膜トランジスタ (TFT) の高性能化、より優れた製法が強く求められている。TFT の高性能化に向けて、低温ポリシリコン製造プロセスにおいて重要なシリコン薄膜の結晶化機構を解明すること、さらに、TFT の特性変動を理論的に明らかにすることは非常に重要である。

パルスの紫外光である Excimer Laser Annealing (ELA) に変わり次世代の低温ポリシリコン作製プロセスとして期待されている Blue-Multi-Laser-Diode Annealing (BLDA) によるシリコン薄膜結晶化の過程を、独自に作成した解析プログラムにより熱解析し、結晶化機構の解明を試みた。熱解析の結果から、BLDA により生成するマイクロポリシリコン、大粒径ポリシリコン、疑似単結晶など、結晶状態の違いが、照射レーザの照射時間とシリコンの熔融時間の大小関係により説明できることを示した。また、照射レーザパワー以外にも、走査速度、ビーム形状を変えることによって結晶状態を制御できることを実際に示した。さらに、熱解析の結果と、BLDA の走査速度を変えることによる結晶状態とを比較した。その結果、膜の結晶状態は BLDA の走査速度に依存して変化し、結晶シリコンの融点を越えない条件では、固相で結晶化が進み、結晶面方位として (111) 方向が優先的に観測された。一方、単結晶シリコンの融点を越える条件では、熔融状態を経て結晶化が進み、ランダムな面方位が観測された。走査速度を変えることにより結晶状態、面方位、粒径などが制御できる可能性を示すことができた。

一方、チャンネル内の粒径のバラツキが TFT 特性に与える影響を記述するために、グレイン・粒界欠陥モデルを発展させた。チャンネル内トラップ密度のバラツキにより弱反転領域での特性指標である  $S$  値が変動し、その結果として、閾値電圧、ドレイン電流などが変動することを定式化した。チャンネル内のポリシリコンに粒径のバラツキを与えることで TFT 特性の変動を評価することが可能となり、TFT 特性の変動を表すことができることを示した。また、チャンネル内のシリコン粒径のバラツキとチャンネルサイズの関係が TFT 特性に与える影響を記述するために、統計的な効果を取り込んだグレイン・粒界欠陥モデルを提案した。チャンネル内のシリコンの粒径のバラツキとチャンネルの大きさが TFT 特性に与える影響を検証した結果、チャンネルサイズが大きくなるほど  $S$  値、閾値電圧  $V_{th}$  およびドレイン電流のバラツキは小さくなり、同じ粒径の分布がある場合ではチャンネルサイズにより、TFT の特性が変動することを示し、今後の薄膜デバイスのプロセスおよび設計に指針を与えた。

氏 名 白井 克弥

平成23年2月17日

琉球大学大学院  
理工学研究科長 殿

論文審査委員  
主査 氏名 野口 隆  
副査 氏名 松尾 直人  
副査 氏名 前濱 剛廣



### 学位（博士）論文審査及び学力確認終了報告書

学位（博士）の申請に対し、学位論文の審査及び学力確認を終了したので、下記のとおり報告します。

#### 記

申請者	氏名 白井克弥	
現住所		
成績評価	学位論文 合格	学力確認 合格
論文題目	熱解析によるシリコン薄膜の結晶化機構の解明と薄膜トランジスタの特性変動に関する研究	
審査要旨（2000字以内）		
<p>情報端末として、ディスプレイは高度情報社会に重要な役割を果たしている。新しい高画質で機能性をもつ液晶（LCD）や有機ELを用いた平面ディスプレイパネル実現に向けて、駆動用素子としてより高い性能の薄膜トランジスタ（TFT）素子、優れた製法の開発が求められている。</p> <p>現在、ガラス上につくる高性能平面ディスプレイ製造のため、パルスの紫外光によるExcimer Laser Annealing（ELA）を用いた低温ポリシリコン（LTPS）プロセスが採用されている。このELAに替わり、次世代の低温プロセスとして期待されるBlue-Laser-Di</p>		

(次頁へ続く)

## 審査要旨

ode-Annealing (BLDA) を用いて、CVD法もしくはスパッタ法により堆積させたシリコン薄膜に対して結晶化を施し、その過程を物理的な特性の解析により考察し、さらに、独自に作成した解析プログラムにより熱計算を行い、結晶化機構の解明を試みた。照射パワーを変化させることで、CVD法により堆積させたシリコン薄膜の結晶化状態を制御できることを明らかにしたが、その照射パワーに応じて得られる微小粒径、大粒径、異方性疑似単結晶粒の形成機構は、シリコン膜の熔融時間と上昇温度によって説明できることを示した。さらに、BLDAのビーム走査速度を変えることによっても、膜の結晶状態が変化することを示し、そのレーザ照射条件の制御により、CVD膜の場合と同様にスパッタ法により堆積させたSi膜に対しても(111)優先結晶面方位をもつ微小な結晶粒が得られることをX線回折法(XRD)による解析結果として得た。この場合、熱解析の結果から、膜方向に等方的な温度分布下において、膜全体は熔融していない固相にちかい状態で結晶化が生じていると予測される。このように、今後の低温ポリシリコン製造プロセスにおいて重要な結晶化機構を解明することを目的に、新しいレーザ装置を用いて研究をすすめ、興味深い実験結果を得ている。ガラス上のシリコン膜に対してレーザを用いた新しい結晶化法を検討したが、より定量的に現象を理解すべく、独自の熱解析計算を準備し、シリコン薄膜の温度上昇の計算シミュレーションと結晶化の実験結果を比較させることで新しい知見を得ている。

以上の研究成果は、薄膜素子応用、発展の自由度を与え、今後のシリコン薄膜結晶化製法に新しい方向性を与えるものである。

一方、TFT素子のチャネル寸法とチャネル領域内の結晶粒径との関係を、数式的に解析し、その電流特性の変動を統計的に解析した。膜内に存在する欠陥に基づいた物理モデルを発展させることで、チャネル内の粒径のバラツキがTFT特性に与える影響を説明、定式化し、記述した。粒径がばらつけば、膜中のトラップ準位密度が変動し、その結果、弱反転特性に影響する。関連して、しきい値が変動する。一方、強反転特性に直接影響する移動度の値もばらつき、TFTのドレイン電流の変動となる。結晶粒径がチャネルの寸法程度にちかづけば、電流特性はさらに顕著に変動することになる。微小な粒径のTFTでは駆動電流は低い、特性の均一性にすぐれる。その特性は、具体的にはTFTの製造プロセス、特に熱処理(アニール)法に、すなわち得られる膜の結晶性に依存する。

以上の結果、得られた知見は、今後、期待できる有機ELパネルの画素部駆動で高い均一性と信頼性を要求される高性能TFT素子設計、製造プロセスへの指針となる。

したがって、本研究成果は工学的に有用であり、提出された学位論文は博士の学位論文に相当するものと判断し、学位論文の審査を合格とする。また、論文発表会における発表ならびに質疑応答において、申請者は専門分野および関連分野の十分な知識ならびに十分な研究能力を有していることが確認できたので最終試験を合格とする。そして、学力確認のための外国語の試験では優秀な成績を収めており、学力試験を合格とする。