

## 論文内容の要旨

### 博士論文題目

Crystalline silicon growth at low-temperature and its application to thin-film transistors and related devices

結晶 Si の低温成長とその薄膜トランジスタ、関連デバイスへの応用

氏 名 田邊 浩

### (論文内容の要旨)

アクティブマトリックスディスプレイ、プリンタヘッド、イメージセンサなどの大面積エレクトロニクスでは、これらの機能を駆動するための多結晶 Si 薄膜トランジスタ (poly-Si TFT) が不可欠であり、ガラスなどの安価な基板材料上での形成が可能な低温での結晶成長技術が期待されてきた。

本研究では、初めに Si 結晶の低温成長技術を気相、固相、液相の 3 つの異なる方法で検討した。気相堆積法の一つである水素ラジカル CVD 法によるエピタキシャル成長条件の研究では、成長表面への水素原子の供給を制御することにより低温における Si 結晶成長の可能性を示した。固相での横方向成長過程に結晶粒界の濾過技術を提案し Ge 薄膜で実証するとともに、本技術を Si 薄膜に適用する際の課題を明らかにした。液相を介した再結晶化であるエキシマレーザ結晶化においては、照射強度の変化が結晶粒径の変動を伴う一方で、照射パルス数は粒径変化への寄与が小さく、微視的な構造の乱れの低減に寄与することを示した。また、良好な多結晶薄膜を得るには冷却速度の最大値を  $1.6 \times 10^{10} \text{ }^\circ\text{C}/\text{秒}$  未満に維持する必要があることを示した。

次に、エキシマレーザ結晶化を用いて poly-Si TFT の実用化技術を検討した。均一性の改善手段を提案し、1 次元イメージセンサへの適用によりその有効性を確認した。Si 層の薄膜化が光リーク電流の低減に有効であることを示し、高輝度液晶ディスプレイの製品化に貢献した。TFT の信頼性の向上にエキシマレーザ結晶化とゲート絶縁膜の連続形成が寄与することを示した。また、位置制御された大粒子 Si 膜を得るため、実用的な構成で装置を試作し、TFT の高移動度化を実証した。単一パルス照射での横方向成長距離が  $2.8 \text{ } \mu\text{m}$  に達し、n チャネル TFT で  $270 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$ 、p チャネル TFT で  $230 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$  の電界効果移動度を得た。

本研究は、Si 結晶の低温成長技術として気相、固相、液相それぞれの課題と可能性を示すと共に、エキシマレーザ結晶化 poly-Si TFT の実用化技術を開発・実証した。その結果、大面積エレクトロニクスの実用技術の進化をもたらし、スマートフォン用の小型高精細ディスプレイ等の新しい産業の創出に貢献した。今後も大面積エレクトロニクス分野のさらなる進化への寄与が期待できる。

(論文審査結果の要旨)

本論文提出者は、結晶 Si の低温成長とその薄膜トランジスタ、関連デバイスへの応用に関する研究を行った。アクティブマトリックスディスプレイに代表される大面積エレクトロニクスでは、これらの機能を駆動するための多結晶 Si 薄膜トランジスタ (poly-Si TFT) が不可欠であり、ガラスなどの安価な基板材料上での形成が可能な低温での結晶成長技術の確立と、その実用化技術の実現が期待されていたためである。

本論文は、上記の背景と目的を述べた第 1 章から、総括を述べた第 5 章までの全 5 章から構成されている。

初めに、Si 結晶の低温成長技術を気相、固相、液相の 3 つの異なる方法で検討した。直接堆積法について述べた第 2 章では、水素ラジカル CVD 法を用いてエピタキシャル成長条件を検討し、成長表面への水素原子の供給を制御することにより低温における Si 結晶成長を実証した。ポスト結晶化技術に着目した第 3 章では、固相での横方向成長過程に結晶粒界の濾過技術を提案し Ge 薄膜で実証するとともに、本技術を Si 薄膜に適用する際の課題を明らかにした。さらに、液相を介した再結晶化であるエキシマレーザ結晶化においては、照射強度の変化が結晶粒径の変動を伴う一方で、照射パルス数は粒径変化への寄与が小さく、微視的な構造の乱れの低減に寄与することを明らかにした。また、良好な多結晶薄膜を得るには冷却速度の最大値を  $1.6 \times 10^{10}$  °C /秒未満に維持する必要があることを示した。

次に、第 4 章において、エキシマレーザ結晶化を用いて poly-Si TFT の実用化技術を検討した。均一性の改善手段を提案し、1 次元イメージセンサへの適用によりその有効性を確認した。Si 層の薄膜化が光リーク電流の低減に有効であることを示し、高輝度液晶ディスプレイの製品化に貢献した。TFT の信頼性の向上にエキシマレーザ結晶化とゲート絶縁膜の連続形成が寄与することを示した。また、位置制御された大粒子 Si 膜を得るため、実用的な構成で装置を試作し、TFT の高移動度化を実証した。単一パルス照射での横方向成長距離が  $2.8 \mu\text{m}$  に達し、n チャネル TFT で  $270 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$ 、p チャネル TFT で  $230 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$  の電界効果移動度を得た。

本研究で得られた成果は、大面積エレクトロニクスの実用技術の進化の過程で、重要な役割を果たし、スマートフォン用の小型高精細ディスプレイの普及等、新しい産業の創出に貢献した。今後も大面積エレクトロニクス分野のさらなる進化への寄与が期待できる。

以上のように、本論文は Si 結晶の低温成長技術として気相、固相、液相それぞれの課題と可能性を示すと共に、エキシマレーザ結晶化 poly-Si TFT の実用化技術を開発・実証した点で工学的に高い価値を有すると考えられる。よって審査員一同は、本論文が博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認めた。