

論文内容の要旨

博士論文題目 Laser Crystallization of Non Two-dimensional Silicon Substrate
for Thin Film Device Application
(非二次元シリコン基板のレーザー結晶化とその薄膜デバイス応用)

氏名 菅原 祐太

(論文内容の要旨)

低温多結晶シリコン (poly-Si) 薄膜トランジスタ (TFT) は、液晶、有機 EL ディスプレイの高性能化を実現するだけでなく、安価な基板を用いたセンサや演算回路への応用も期待されている。poly-Si 薄膜を用いたデバイスの高性能化には、その高品質化が欠かせない。これまで、非晶質シリコン (a-Si) 薄膜のレーザー結晶化により、二次元平面基板上に大粒径な結晶粒を有する poly-Si 薄膜を形成する手法が数多く提案されてきたが、いずれも高コスト化につながる課題があった。本研究では、このような従来の a-Si 薄膜のレーザー結晶化と全く異なる取り組みとして、基板を一次元、および三次元に展開した。すなわち、「非二次元 Si 基板」として一次元ファイバー Si 基板および三次元積層 Si 基板を用いることを提案した。従来の二次元平面基板と異なるこれらの基板の形状および構造がレーザー結晶化時の光照射および熱伝導に与える効果を利用し、poly-Si の大粒径化につながる新しい結晶化機構の解明を行った。同時に、これらの基板の形状および構造を活用した新たなプロセス技術、デバイス構造の可能性を検討した。

本研究では、非二次元 Si 基板上のレーザー結晶化 poly-Si 薄膜を TFT に応用するために、まず XeCl エキシマレーザー ($\lambda = 308 \text{ nm}$) により結晶化した poly-Si 基板を用いて低温 poly-Si TFT 作製のプロセス開発を行った。さらに、一次元ファイバー Si 基板を用いたレーザー結晶化とその TFT 作製を行った。角柱石英ファイバーを用い、それを溝基板に埋め込むなどの工夫によりファイバープロセスの確立を行った。ファイバー上 a-Si 薄膜のレーザー結晶化を行ったところ、平面基板を用いたものと比較して結晶性の向上を確認し、レーザー結晶化におけるファイバー基板の優位性を実証した。この poly-Si を用いてファイバー上に TFT を作製し、ファイバー上で初のスイッチング動作を確認した。さらに、三次元積層 Si 基板を用いたレーザー結晶化とその結晶性評価、TFT 作製について議論した。積層した a-Si 薄膜を、Si に対して透過率が大きいパルス発振グリーンレーザー (Nd:YAG 2ω ($\lambda = 308 \text{ nm}$)) を用いて結晶化を行った。上層、下層 a-Si の同時結晶化および上層 poly-Si の大粒径化を初めて確認し、これを用いて TFT を作製した。その結果、移動度 $550 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ という単結晶 Si TFT に近い特性が得られた。この一連の研究によって、基板を「非二次元」に拡張する優位性が認められた。今後は、「非二次元基板」を活用したリールツーリールプロセスや 3 次元デバイスなどへの展開が可能となろう。

(論文審査結果の要旨)

低温多結晶シリコン (poly-Si) 薄膜トランジスタ (TFT) は、液晶、有機 EL ディスプレイの高性能化を実現するだけでなく、安価な基板を用いたセンサや演算回路への応用も期待されている。poly-Si 薄膜を用いたデバイスの高性能化には、その高品質化が欠かせない。これまで、非晶質シリコン (a-Si) 薄膜のレーザー結晶化により、二次元平面基板上に大粒径な結晶粒を有する poly-Si 薄膜を形成する手法が数多く提案されてきたが、いずれも高コスト化につながる課題があった。本研究では、このような従来の a-Si 薄膜のレーザー結晶化と全く異なる取り組みとして、基板を一次元、および三次元に展開した。すなわち、「非二次元 Si 基板」として一次元ファイバー Si 基板および三次元積層 Si 基板を用いることを提案した。従来の二次元平面基板と異なるこれらの基板の形状および構造がレーザー結晶化時の光照射および熱伝導に与える効果を利用し、poly-Si 薄膜の大粒径化につながる新しい結晶化機構の解明を行った。同時に、これらの基板の形状および構造を活用した新たなプロセス技術、デバイス構造の可能性を検討した。

本研究では、非二次元 Si 基板上のレーザー結晶化 poly-Si 薄膜を TFT に応用するために、まず、XeCl エキシマレーザー ($\lambda = 308 \text{ nm}$) 結晶化による二次元平面の poly-Si 基板を用いて低温 poly-Si TFT 作製プロセスの開発を行った。さらに、一次元ファイバー Si 基板を用いたレーザー結晶化と TFT 作製について検討した。角柱石英ファイバーを用い、それを溝基板に埋め込むなどの工夫を行い、ファイバー-TFT プロセスの確立を目指した。ファイバー上 a-Si 薄膜をエキシマレーザーにより結晶化し、平面基板を用いたものと比較して結晶性が向上することを確認し、レーザー結晶化におけるファイバー基板の優位性を実証した。この poly-Si 薄膜を堆積したファイバー上に TFT を作製し、ファイバー上での初のスイッチング動作を確認した。さらに、三次元積層 Si 基板を用いたレーザー結晶化とその結晶性評価、TFT 作製を試みた。積層した a-Si 薄膜を、Si に対して透過が大きいパルス発振グリーンレーザー (Nd:YAG 2ω ($\lambda = 532 \text{ nm}$)) を用いて結晶化したところ、上層、下層 a-Si の同時結晶化および上層 poly-Si の大粒径化を初めて確認した。この薄膜を用いて TFT を作製したところ移動度 $550 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ という単結晶 Si TFT に近い特性が得られた。この一連の研究により、基板を「非二次元」に拡張する優位性が実証された。

非二次元シリコン基板のレーザー結晶化技術は、次世代情報端末を実現する有望な手法である。従って、審査委員一同は、本論文が博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認定した。