

ガラス上シリコン薄膜の高品質化とデバイス応用

High Quality Si Thin-Film and High Performance Si Devices on Glass Substrate

東北学院大工¹, 島根大総理工工² ◦原明人¹, 北原邦紀²

Tohoku Gakuin Univ.¹, Shimane Univ.², ◦Akito Hara¹, Kuninori Kitahara²

E-mail: akito@tjcc.tohoku-gakuin.ac.jp

1. ガラス上の poly-Si 薄膜の高品質化

低温 poly-Si 薄膜トランジスタ (TFT) のプロセスで形成された Si(100) SIMOX-MOSFET とガラス上エキシマレーザ結晶化 (ELC) poly-Si TFT の性能を比較した研究がある¹⁾。Si(100) SIMOX-MOSFET の移動度 $670 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, s 値 $87 \text{ mV}/\text{dec}$ に対して, ELC poly-Si TFT は移動度 $< 300 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, s 値 $260 \text{ mV}/\text{dec}$ である。この結果は, poly-Si TFT の性能は結晶品質 (特に結晶粒界) が支配していることを意味する。しかし, 結晶粒を過剰に巨大化しても特性の改善効果は小さい。移動度に注目すれば, 格子振動散乱が粒界散乱よりも支配的になれば, 大粒径化の効果は次第に弱くなる¹⁾。しかし, 大粒径化は高いデバイス性能を得るという意味では魅力的である。この場合, 特性バラツキを抑えるため, 粒界の不活性化が重要になる。

2. 半導体励起固体連続波レーザを使った高品質 poly-Si 成長

連続波レーザを使った Si 結晶化技術は, 1980 年代に行われた 3 次元 LSI で活発に研究された。この時代に使われたレーザは, Ar^{*}などの気体レーザであった。報告者らは半導体励起固体連続波レーザ (波長: 532nm) に注目した。このレーザは ①Si に対して十分な吸収係数を有する ②安定した高出力が得られる ③ガラスは波長 532nm に対して透明であり, 直接レーザ光を吸収しない ④安価 という特徴がある。レーザ光を線状に加工し, 幅広い領域で一方向凝固を実現することにより, ガラス上で粒内品質が優れた大粒径のラテラル poly-Si 薄膜を形成した^{2,3)}。

3. 水素による poly-Si TFT の高性能化

粒界不活性化には水素が効果的である。水素化技術として最も簡単な 400°C でのガスアニールを利用し, ゲッターリングの視点から TFT 特性に及ぼす水素の影響を調べた。 400°C では, 欠陥と水素の結合エネルギーは熱エネルギーよりも小さく, 水素は欠陥に強くトラップされることなく TFT 内を拡散する。 400°C 以下では欠陥と水素の結合エネルギーが熱エネルギーよりも大きくなりはじめ, 水素は欠陥にゲッターリングされる (水素化)。効率的な水素化を実現するためには冷却過程が重要なパラメータである⁴⁾。

4. デバイス応用

半導体励起固体連続波レーザ結晶化とゲッターリングを考慮した水素化を利用し, 低温 (550°C) プロセスでガラス上にデバイス開発を行った。ここでは ①ガラス上の自己整合メタルダブルゲート低温 poly-Si TFT^{5,6)} ②フレキシブルガラス上の低温 poly-Si TFT CMOS インバータ⁷⁾ ③ガラス上の 4 端子駆動自己整合メタルゲート低温 poly-Si TFT について報告する。図1は, ガラス上低温 poly-Si TFT の性能である (トップゲートと埋め込み型自己整合メタルダブルゲート)。トップゲートで移動度 $300 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を安定的に実現できる。また, 図2はガラス上の4端子駆動自己整合メタルゲート低温 poly-Si TFT の光学顕微鏡写真である。

5. 更なる高品質化・高機能化に向けて

ガラス上シリコン薄膜の更なる高品質化には, 結晶方位制御と粒径サイズの均一化が必要である。我々は SiGe 薄膜に対し半導体励起固体連続波レーザ結晶化を応用することにより, 配向と粒径サイズの同時均一化を実現した^{8,9)}。図3は一例である。組成的過冷却によって生じるセル構造を利用し, 表面配向と結晶粒サイズのほぼ整った疑似的な単結晶薄膜をガラス上に成長した。当日は, デバイス特性も報告する。このシリコン薄膜はガラス上半導体形成のテンプレートとしても利用可能である。

6. まとめ

ガラス上では表面凹凸や熱プロセス時に生じる基板変形のため, 微細化には限界があると言われている。そのような状況下でデバイス性能を向上するためには, 結晶配向と結晶粒サイズが整い, 粒内品質の優れた Si 系薄膜の成長技術が重要になる。また, マルチゲート構造や high-k などの Si-MOSFET で築き上げた資産の有効活用が重要である。

【謝辞】

本研究は科学研究費基盤 (C) 22560341, (C) 21560329 の支援による成果を含んでいる。

【参考文献】

- 1) A. Hara et al.: J. Appl. Phys. 91 (2002) 708. 2) A. Hara et al.: Jpn. J. Appl. Phys. 41 (2002) L311. 3) A. Hara et al.: Jpn. J. Appl. Phys. 43 (2004) 1269. 4) Y. Shika et al.: to be published in Jpn. J. Appl. Phys. 5) A. Hara et al.: Jpn. J. Appl. Phys. 50 (2011) 021401. 6) H. Ogata et al.: to be published in IEICE Trans. on Electronics. 7) S. Kamo et al.: Ext. Abst. SSDM (2012) PS-3-14. 8) K. Hirose et al.: Jpn. J. Appl. Phys. 49 (2010) 03CA07. 9) K. Kitahara et al.: Jpn. J. Appl. Phys. 50 (2011) 115501.

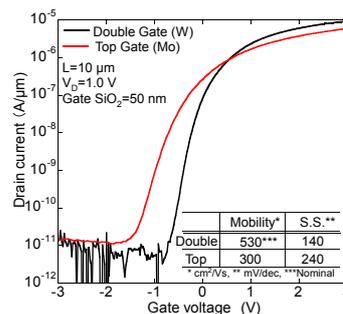


Fig. 1. Poly-Si TFTs on glass substrate

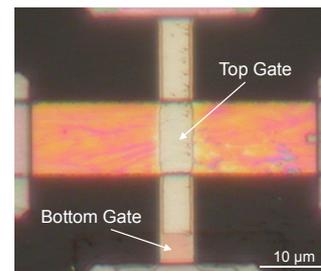


Fig. 2. Four-terminal metal-gate poly-Si TFT

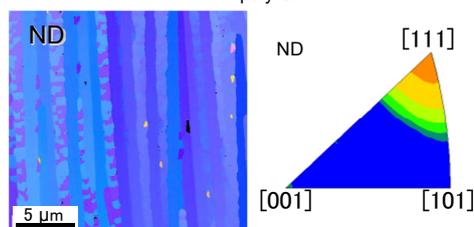


Fig. 3. Quasi single-crystalline Si thin-film on glass