

Arレーザー照射スパッタSi膜を用いた 高性能poly-Si TFTの作製

芹川 正

東京大学 先端科学技術研究センター (〒153-8904 東京都目黒区駒場4-6-1)

Fabrication of High Quality Poly-Si TFTs by Using Ar-Laser Irradiated Sputter-Si Films

Tadashi SERIKAWA

The University of Tokyo, Research Center for Advanced Science and Technology,
4-6-1, Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8904

(Received June 13, 2002)

Precursor a-Si films are deposited by RF planar magnetron sputtering in argon gas at 200 °C substrate temperature. Properties of the a-Si films have large dependences on sputtering gas pressure. Sheet resistance of polycrystalline Si films which are phosphorus-ion-implanted and crystallized with Ar-laser-irradiation shows low for sputtering gas pressures of from 1.0 to 1.5 Pa. Moreover, the Si films have smaller concentrations of argon and oxygen impurities in film. Polycrystalline Si thin film transistors (poly-Si TFTs) are fabricated using Si films which are sputtered at 1.0 Pa gas pressure and crystallized by Ar-laser irradiation. The polycrystalline Si films feature column structure with near 200 nm grain size. Gate SiO₂ films in the poly-Si TFTs are also deposited through sputtering in oxygen and argon mixed gas. The poly-Si TFTs annealed in hydrogen atmosphere shows excellent characteristics of very high mobility.

Key Words: Polycrystalline Si, Sputtering, Ar-laser, Thin film transistor (TFT), High mobility

1. はじめに

多結晶Si薄膜トランジスタ (poly-Si TFT) は、移動度がa-Si TFTに比べて大きいため、フラットパネル表示装置における画素のスイッチング素子用としてだけでなく駆動回路用としても使用でき、フラットパネル表示装置の軽量化・高性能化が図れる利点を有している。このpoly-Si TFTの特性をさらに高め、単結晶Si MOS FETの特性に近づけることにより、記憶や演算などの機能をもガラス基板上に集積化した新規システムの実現が可能となる。このため、poly-Si TFTの高性能化に向けての研究が各所で精力的に進められている。ただ、このpoly-Si TFTは、安価なガラス基板上やプラスチック等のフレキシブルな基板上に作製する必要があるため、その作製はこれらの基板が耐えられる温度で行なわなければならない¹⁻³⁾。このことのために、Si膜の堆積にはPECVD法が、結晶化にはレーザー照射法が広く用いられている⁴⁾。我々は、低い基板温度でも良質の薄膜が堆積できるスパッタ法によりSi膜を堆積し、その結晶化をArレーザー照射により行うことにより、非常に高い移動度の高性能poly-Si TFTが低い基板温度で得られることを明らかにしてきた^{5,6)}。本報告では、ス

パッタ法によるSi膜の特性から、それを用いて製作したpoly-Si TFTの特性までの概要を記述する。

2. スパッタ法によるSi膜の形成とArレーザー照射

poly-Si TFTの特性は、その製作条件と共にプレカーサとなるa-Si膜の特性に大きく依存する。このa-Si膜は高周波型平板マグネトロンスパッタ法により堆積した⁷⁻⁹⁾。その際のスパッタガスとしてはアルゴンガスを用い、基板温度は200 °Cで堆積した。Fig. 1は、アルゴン単体ガスならびにアルゴンと水素の混合ガス中で堆積したSi膜のスパッタガス圧によるシート抵抗の変化である。このSi膜は、リンイオンを注入後レーザー照射を施した多結晶Si膜となっている。アルゴン単体ガスならびに水素を混合した、いずれのスパッタガスにおいても、ガス圧1.0-1.5 Paにおいてシート抵抗は最小となること、ならびにアルゴン単体ガスの方が水素混合ガスよりも小さな抵抗を示すことが分かる。Fig. 2は、a-Si膜中のアルゴンと酸素原子の含有濃度のスパッタガス圧依存性を示す。アルゴン含有濃度はスパッタガス圧が大きくなるに伴い減少するが、酸素原子含有濃度は反対に増大している。Fig. 1のシート抵抗の

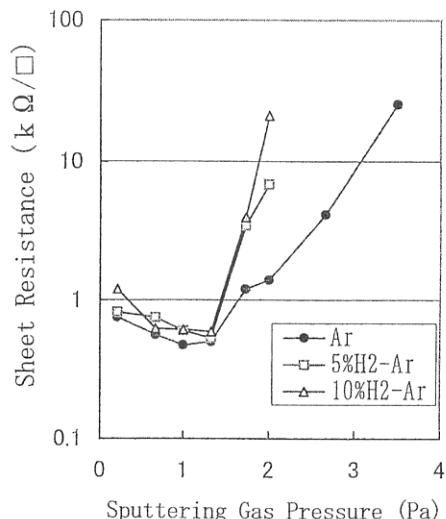


Fig. 1 Changes of sheet resistance as a function of sputtering gas pressure for argon gas and 0.5 % and 10 % hydrogen-argon mixtures.

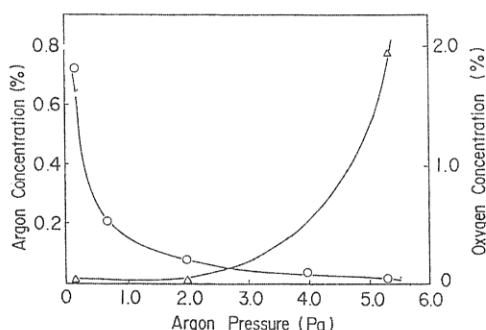


Fig. 2 Changes of argon (○) and oxygen (△) concentration of as-deposited Si films as a function of sputtering gas pressure. Concentrations of argon and oxygen were measured by XMA and AES, respectively.

変化と比較すると、低ガス圧力領域、高ガス圧力領域でのシート抵抗の上昇はアルゴン含有濃度増大、酸素含有濃度増大に対応し、その中間のガス圧力領域で両不純物濃度が低く、抵抗が最も小さくなっている。このa-Si膜の膜組織を電子顕微鏡により調べたところ、低ガス圧領域では高密度な繊維状組織となっているが、高ガス圧領域では密度の低いポーラスな組織となっていることが明らかにされている。前者の繊維状組織は、膜堆積の途中にArイオンやスパッタされたSi原子などの高エネルギー粒子の衝突を受けることにより形成され、またAr含有量も大きくなる。一方、後者のスパッタガス圧が高い領域では、高エネルギー粒子の衝突も減り、ポーラスな組織となり、Ar含有量も小さくなる^{8,10)}。Fig. 2に示した高スパッタガス圧領域での大きな酸素含有量は、膜堆積後に膜表面が大気に晒された時に吸着されたためと考えられる。この中間のスパッタガス圧領域(1.0 - 1.5 Pa)での膜は、膜密度が高く、Arならびに酸素の含有量が少なくなるため、Fig. 1に示したように、シート抵抗は小さくなる。

シート抵抗が最も小さくなる中間のスパッタガス圧領域で堆積したSi膜にレーザー光を照射して結晶化した。そのSi膜の断面、ならびに平面の透過電子顕微鏡写真(TEM)

をFig. 3に示す。断面TEMでは結晶化が膜面に垂直に起こり、柱状の結晶粒となる。さらに、X線回折測定から、このpoly-Si膜は(111)に強く配向していることが分かっている^{5,9)}。Fig. 3の平面TEMからは、約200 nmの小さな粒径で、不明瞭な結晶粒界の多結晶となっていることが分かる。Fig. 4には、その多結晶Si膜のラマンスペクトルが示してある。結晶Siを示す半値幅：4.6 cm⁻¹の鋭いピークが515.5 cm⁻¹に現れ、さらにアモルファス相やマイクロクリスタル相を示すピークは認められず、この膜は完全に結晶化していることが分かる¹¹⁾。このピーク位置は、単結晶Siのピーク位置：520 cm⁻¹よりも低波数側にシフトしており、内部応力として引張り応力を有していることを示している¹²⁾。この中間スパッタガス圧領域で堆積し、Arレーザーを照射したSi膜を用いてpoly-Si TFTを製作した。

3. poly-Si TFTの作製と特性

ブレナー構造のnチャンネルpoly-Si TFTを製作した。まず、基板上に100 nm厚のSiN膜を反応性スパッタリング法で堆積した後、150 nmの厚さのa-Si膜をRFマグネトロンスパッタリング法により、アルゴンガス圧：1.0 Pa、基板温度：200 °Cで堆積した。このa-Si膜に室温でArレーザー照射した。その照射条件は、レーザービーム径：50 μm、パワー：2.5 W、レーザービーム走査速度：20 cm/sである。

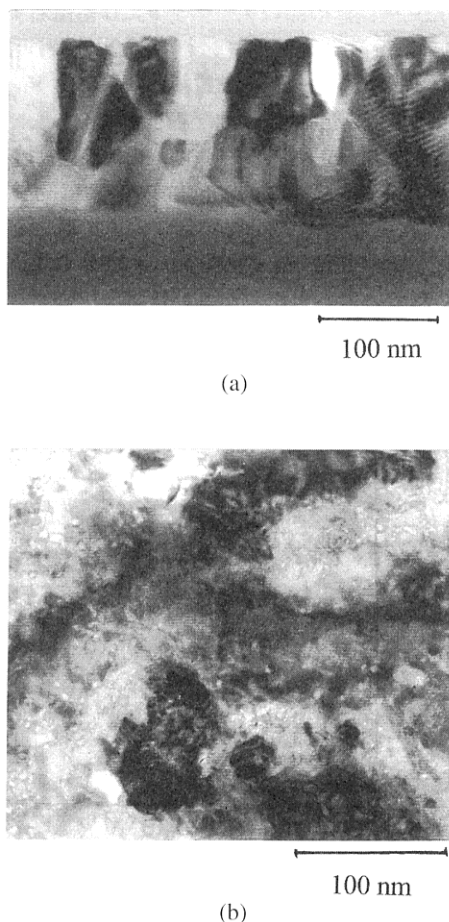


Fig. 3 TEM photographs for cross section (a) and plane view (b) of polycrystalline Si film.

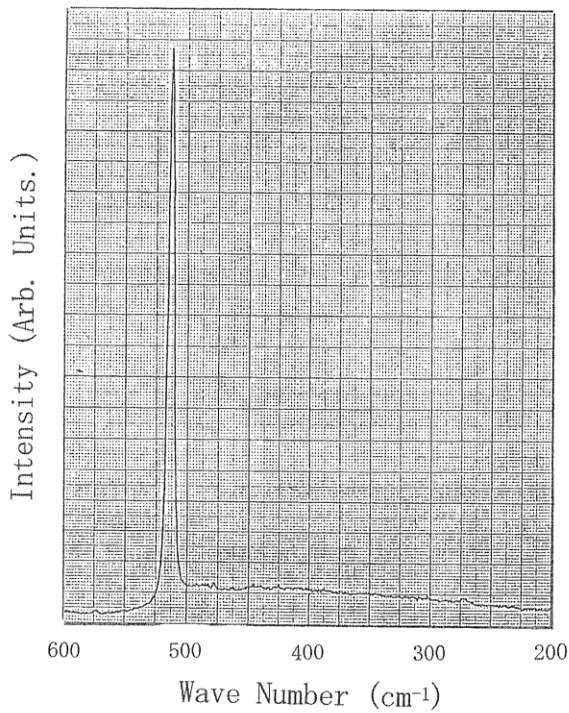


Fig. 4 Raman spectrum for Si films crystallized by Ar-laser irradiation at 2.5 W power.

この膜のバターニング後、100 nm厚のゲートSiO₂膜をRFマグネトロンスパッタリング法により、基板温度：200 °Cで形成した¹³⁻¹⁵。この際のターゲットには熔融石英を、スパッタガスには酸素とアルゴンとの混合ガスを用いた。次に、燐添加多結晶Si膜ゲート電極、ソース・ドレイン電極、SiO₂層間絶縁膜、最後にAl配線を形成をした。このようにして製作したpoly-Si TFTを400 °Cの水素雰囲気中で20分のアニールを施した。このpoly-Si TFTのドレイン電流のゲート電圧による変化をFig. 5に示す。この時の移動度は398 cm²/Vs、オフ電流は1 × 10⁻¹⁰ A、オン/オフ電流比は約7桁が得られている。また、しきい値電圧、ならびにサブスレッシュホールド電圧は0.5 V、および0.4 V/dec.である。

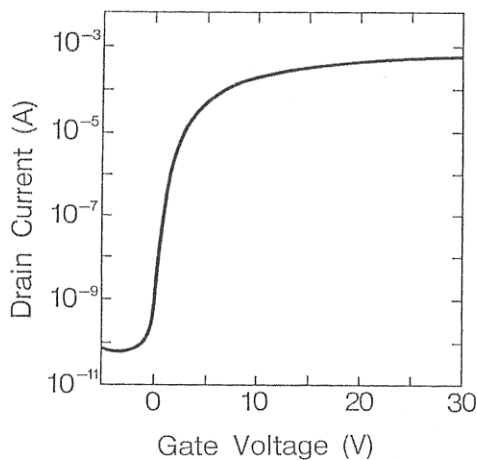


Fig. 5 Drain current vs. gate voltage at drain voltage of 5 V for high mobility poly-Si TFT with channel width/length: 10 μm/20 μm.

このように、非常に高い移動度を有する高性能なpoly-Si TFTが得られた。

多結晶Si膜の結晶粒界には、結晶欠陥に基づくキャリア捕獲準位が多く存在し、キャリアを捕獲しポテンシャル障壁が形成される。このポテンシャル障壁の高さは、poly-Si TFT特性の温度依存性より評価できる¹⁶。Fig. 6は、そのドレイン電流のアレニウス表示である。また、同図には結晶化を炉中でのアニールにより製作したpoly-Si TFTの特性も示してある。炉中アニール結晶化の場合には、温度の上昇に伴いドレイン電流が増大している。このことは、ドレイン電流はポテンシャル障壁よりも格子散乱に支配されていることを示している。ただ、このアレニウス表示より求めた傾きは単結晶Siの場合よりもやや小さいことも分っている。このことは、この移動度の高いpoly-Si TFTにおいても低いポテンシャル障壁が残っていることを示している。このポテンシャル障壁をさらに低め、poly-Si TFT特性を一層の向上するために、水素雰囲気中アニールの際の条件として温度(400 °C)と時間(20分)における、基板温度の上昇速度並びに下降速度の影響も調べた。その結果、下降速度が特に著しく影響することが明らかになった。これまでより下降速度を小さくすることにより移動度を590 cm²/Vsにまで高められ、さらなる特性の向上が図れた^{17,18}。

poly-Si TFTの特性は、多結晶Si膜の特性だけでなく、ゲート絶縁膜との界面特性や水素化処理条件に大きく影響され、poly-Si TFT特性のさらに一層の向上には、これらSi膜の特性、界面特性、ならびに水素化処理条件を同時に最適化することが重要である。

4. まとめ

スパッタリングによるSi膜にArレーザーを照射した多結晶Si膜を用いることにより高性能poly-Si TFTが得られること、およびその製造プロセスを明らかにした。さらに、水素化処理条件の最適化により移動度の著しい向上が図れた。

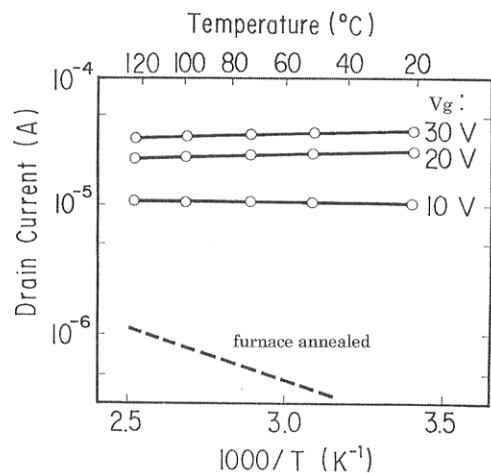


Fig. 6 Temperature dependences of drain current at drain voltage of 0.6 V for the high mobility poly-Si TFT, compared with furnace annealed poly-Si TFT.

謝 辞

本研究は、NTTエレクトロニクス(株)の白井 誠一氏、岡本 章雄氏、NTTサイバースペース研究所の陶山 史朗氏との共同研究に負うところが多い。この方々に感謝いたします。

参考文献

- 1) P. M. Smith, P. G. Carey, and T. W. Sigmon: *Appl. Phys. Lett.* **70** (1997) 342.
- 2) R. S. Howell, M. Stewart, S. V. Karnik, S. K. Saha, and M. K. Hatalis: *IEEE Electron Device Lett.* **21** (2000) 70.
- 3) T. Serikawa and F. Omata: *IEEE Electron Device Letters* **20** (1999) 574.
- 4) T. Sameshima, M. Hara, and S. Usui: *Jpn. J. Appl. Phys.* **28** (1989) 789.
- 5) T. Serikawa, S. Shirai, S. Suyama, and A. Okamoto: *IEEE Trans. Electron Devices* **ED-36** (1989) 1929.
- 6) T. Serikawa and F. Omata: *IEEE Trans. Electron Devices* **49** (2002) 820.
- 7) T. Serikawa and A. Okamoto: *J. Vac. Sci. Technol. A* **3** (1985) 1784.
- 8) A. Okamoto and T. Serikawa: *J. Electrochem. Soc.* **134** (1987) 1497.
- 9) A. Okamoto, S. Suyama, S. Shirai, and T. Serikawa: *Proc. Mat. Res. Soc. Symp.* **202** (1991) p. 223.
- 10) J. A. Thornton: *J. Vac. Sci. Technol. A* **4**(6) (1986) 3059.
- 11) M. Makihara, A. Tabata, Y. Suzuoki, and T. Mizutani: *Vacuum* **59** (2000) 785.
- 12) V. Paillard, P. Puech, and M. A. Laguna: *Appl. Phys. Lett.* **73** (1998) 1718.
- 13) S. Suyama, A. Okamoto, S. Shirai, and T. Serikawa: *Proc. Mater. Res. Soc. Symp.* **146** (1989) p. 301.
- 14) S. Suyama, A. Okamoto, and T. Serikawa: *J. Appl. Phys.* **65** (1989) 210.
- 15) T. Serikawa and S. Shirai: *Vacuum* **51** (1998) 781.
- 16) J. Levinson, F. R. Shepherd, P. J. Scanlon, W. D. Westwood, G. Este, and M. Rider: *J. Appl. Phys.* **46** (1982) 1193.
- 17) T. Serikawa: Meeting Abstract on The 198th Meeting of The Electrochemical Society (Arizona, USA, Oct. 22-27, 2000) No.7.
- 18) T. Serikawa: 19th Inter. Conf. Amorphous and Microcrystalline Semiconductors (Nice, France, Aug. 27-31, 2001). Mo-A1/3.

レーザーワード

多結晶Si (polycrystalline Si)

固体状Siはアモルファス状態か、あるいは結晶状態になっている。後者の結晶状態は、固体が単一の結晶から成る単結晶Siの場合と、多数の単結晶がいろいろな方位を持ち、集合して出来ている多結晶Siの場合に分けられる。この多結晶Siの物性的特徴はアモルファスSiと比較すると、より単結晶Siに近いことである。光吸収スペクトルは

単結晶とほぼ等しく、キャリアの移動度や寿命も、単結晶よりは短い。アモルファスよりは大幅に改善されている。これらの特徴と薄膜多結晶Siがレーザー照射等により低温で形成できることから、多結晶Siの用途としては、液晶ディスプレイ用薄膜トランジスタや太陽電池が挙げられる。(芹川 正)