アモルファスシリコン薄膜トランジスタのオフ電流特性に 及ぼすプラズマ処理の効果

鷲塚 諫*, 藪田 哲史**, 岡本 昌也***

Plasma Treatment Effect on the Off Current Characteristics of a-Si Thin Film Transistor

Isamu WASHIZUKA*, Satoshi YABUTA** and Masaya OKAMOTO***

The off current of amorphous silicon (a-Si:H) thin film transistors (TFTs) depends on fabrication after back-channel etching. Plasma treatment after back-channel etching affects off current in the lower subthreshold voltage region. Off current is high in O₂ plasma treatment and low in N₂ plasma treatment. Without plasma treatment, off current can not be controlled. N₂ plasma treatment affects the interface characteristics between a-Si:H layer and passivation layer, obstructing electron transport near the back-channel interface.

Key Words : a-Si, TFT, Plasma Treatment

1. 緒 言

高品位の表示が得られるアクティブマトリクス型液晶ディスプレイ (AM-LCD) のスイッチング素子として、アモルファスシリコン薄膜トランジスタ (a-Si Thin Film Transistor, a-Si TFT) を用いた液晶ディスプレイが、パーソナルコンピューター、携帯情報端末 (PDA) といった多くの情報ツールやビデオカムコーダー、カーナビゲーション用の画像ディスプレイとして使われるようになってきた。

a-Si TFT の構造は、ゲート電極とソース・ドレイン電極が a-Si 層を挟んで上下に対峙し、ゲート電極が下側に配置される逆スタガ型構造 (ボトムゲート構造) が一般的で、その中でもバックチャネルエッチ型とチャネル保護型の 2 種類の構造がある。

バックチャネルエッチ型の TFT の場合、チャネル保護型に比べチャネル長 (L) を短くできるため、比較的容易に高いオン電流を得ることができる。しかし、バックチャネルエッチング時のプロセス安定化のため、a-Si

層の膜厚を厚くしなければならないこと、チャネル表面領域での欠陥が多いことなどから、TFT オフ時のリーク電流が高い傾向が見られる。

本稿では、バックチャネルエッチング型 a-Si TFT のオフ電流特性を改善するために、バックチャネルエッチング後に O₂ プラズマ処理および N₂ プラズマ処理を行い、それらがオフ電流特性に及ぼす影響について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 a-Si TFT の作製方法

図 1 に本研究に用いたバックチャネルエッチ型の逆スタガ型 a-Si TFT の断面図を示す。本研究では、以下の手順で a-Si TFT を作製した。

ガラス基板上にゲート電極の形成を行った後、プラズマ CVD 法により、ゲート絶縁膜 (窒化シリコン, SiN_x)、半導体層 (a-Si:H)、オーミックコンタクト膜を連続的に成膜した。今回、a-Si:H 層の膜厚は 150 nm とした。また、ソース・ドレイン電極と a-Si:H 膜との良好な

Fig. 1 Cross sectional view of the inverted staggered a-Si TFT of back channel etching type used in this study.

* シャープ(株) 情報・プリント・通信事業統轄 (〒639-1186 奈良県大和郡山市美濃庄町 492)
Information・Communication・Printing & Reprographic Systems Management, Sharp Corp. (492, Minosho-cho, Yamato-Koriyama-shi, Nara 639-1186)

** シャープ(株) TFT 液晶事業本部 (〒632-8567 奈良県天理市標本町 2613-1)
TFT Liquid Crystal Display Group, Sharp Corp. (2613-1, Ichinomoto-cho, Tenri-shi, Nara 632-8567)

*** シャープ(株) 液晶開発本部 (〒632-8567 奈良県天理市標本町 2613-1)
Liquid Crystal Display Development Group, Sharp Corp. (2613-1, Ichinomoto-cho, Tenri-shi, Nara 632-8567)

オーミックコンタクトを得るために、 n^+ 型微結晶Si ($\mu\text{c-Si:H}(n^+)$)膜をコンタクト膜とした²⁾。次に n^+ 型微結晶Si/a-Si:H膜をパターン化した後、ソース・ドレイン電極を形成し、ソース・ドレイン電極間のチャネル領域を、通常エッチングの際にマスクとして用いるレジストパターンを使用せず、ソース・ドレイン電極自体をマスクとして、ドライエッチング法でエッチングした。この時、チャネル領域でのa-Si:H膜の残膜量が90nmとなるようにエッチングを行った。エッチング終了後、エッチングガスを排気し、 O_2 ガス、 N_2 ガスを用いてバックチャネル表面のプラズマ処理を行った。プラズマ処理は、圧力200Pa、RFパワー密度 0.12 W/cm^2 、処理時間45秒の条件で行った。最後にプラズマCVD法により保護膜(SiN_x)を形成した。なお、今回評価を行ったTFTのチャネル長(L)は $4\text{ }\mu\text{m}$ 、チャネル幅(W)は $23\text{ }\mu\text{m}$ とした。

2. 2 TFT 特性の評価方法

TFT 特性の評価は、半導体パラメーターアナライザー(HP 4145 B)を用い、ゲート電圧 V_g 、ソース電圧 V_{ds} を変化させた場合のドレイン電流 I_{ds} (暗電流)、光照射下でのオフ電流、測定温度を上げていった時のオフ電流、バイアス・温度ストレス下でのしきい値電圧およびオフ電流について測定した。

3. 実験結果および考察

3. 1 ドレイン電流のゲート電圧依存性

バックチャネルエッチング後に、 O_2 プラズマ処理、 N_2 プラズマ処理を行ったものとプラズマ処理を行わな

Fig. 2 TFT characteristics of the TFTs with O_2 and N_2 plasma treatment and without plasma treatment.
 — One non treatment sample
 Another non treatment sample
 - - - - O_2 plasma treatment
 — N_2 plasma treatment

いものについて、ソース電圧 V_{ds} を $+10\text{ V}$ に固定し、ゲート電圧 V_g を -15 V から $+20\text{ V}$ まで変化させた場合のドレイン電流 I_{ds} (暗電流)の変化を測定した。その結果を図2に示す。

O_2 プラズマ処理と N_2 プラズマ処理を比較すると、オン電流には両処理の差はほとんど見られないが、オフ電流は N_2 プラズマ処理の方が O_2 プラズマ処理より低くなった。また、プラズマ処理を行わない場合は、オン電流についてはプラズマ処理を行った場合とほとんど差は見られないが、オフ電流については変動が大きく、 O_2 プラズマ処理を行ったものより高くなる場合と、 N_2 プラズマ処理を行ったものより低くなる場合があった。これは、プラズマ処理を行わない場合、バックチャネルエッチング後のチャネル表面が不安定な状態になっているためと考えられる。一方、プラズマ処理を行ったものについては、 O_2 プラズマ処理、 N_2 プラズマ処理のいずれについても再現性のあるオフ電流特性が得られた。

Fig. 3 Off current and on current characteristics of the TFTs with O_2 and N_2 plasma treatment.
 (a) Off current
 (b) On current
 ● O_2 plasma treatment
 ■ N_2 plasma treatment

次に、プラズマ処理を行った TFT のオフ電流特性とオン電流特性をさらに詳しく比較するために、ゲート電圧 V_g を一定の電圧に固定し、ソース電圧 V_{ds} を変化させた場合のドレイン電流 I_{ds} (暗電流) の変化を測定した。今回の実験では、対象となる現象を評価するための代表的な値として、オフ電流はゲート電圧 $V_g = -4\text{ V}$ でのドレイン電流 I_{ds} を、オン電流はゲート電圧 $V_g = 10\text{ V}$ でのドレイン電流 I_{ds} を測定した。

図 3 (a) に示すように、 N_2 プラズマ処理を行った TFT のオフ電流は、 O_2 プラズマ処理を行った TFT より低い。一方、図 3 (b) に示すようにオン電流は、どちらの場合もほとんど同じであった。

これらの結果から、 N_2 プラズマ処理は、TFT のオン電流特性に影響を及ぼさずオフ電流を低減できる効果があることが判明した。

3. 2 オフ電流の光強度依存性

これまでの評価で N_2 プラズマ処理が、暗状態でのオフ電流特性の改善に効果があることが確認できたので、次に光照射時のオフ電流特性を評価した。

図 4 に、 O_2 プラズマ処理および N_2 プラズマ処理を行った TFT のオフ電流の光強度依存性を示す。光源としては、メタルハライドランプを用い、光をガラス基板の反対側から TFT に照射し、ゲート電圧 $V_g = -4\text{ V}$ 、ソース電圧 $V_{ds} = 10\text{ V}$ でのオフ電流を測定した。その結果、バックチャネルエッチング後のチャネル領域の a-Si: H 層の膜厚が同じであるにもかかわらず、 N_2 プラズマ処理を行った TFT の光照射下でのオフ電流は、 O_2 プラズマ処理を行った TFT の約 1/2 に低減された。

3. 3 オフ電流の温度依存性

図 5 に、 O_2 プラズマ処理および N_2 プラズマ処理を行った TFT のオフ電流の温度依存性を示す。温度は室

Fig. 5 Temperature dependence of the off current.
● O_2 plasma treatment
■ N_2 plasma treatment

温から 90°C まで変化させ、ゲート電圧 $V_g = -4\text{ V}$ 、ソース電圧 $V_{ds} = 10\text{ V}$ でのオフ電流を測定した。 N_2 プラズマ処理を行った TFT のオフ電流は、 O_2 プラズマ処理を行った TFT に比べ、測定温度域すべてで低い値となった。一方、活性化エネルギーについては、 O_2 プラズマ処理の場合も N_2 プラズマ処理の場合もほとんど同じ結果となった。このことから、プラズマ処理によるギャップ中のエネルギー準位の変化はないものと思われる。

3. 4 信頼性評価

TFT を LCD のスイッチング素子として用いる場合

Fig. 6 V_{th} change of the TFTs under bias and temperature stress.

Fig. 4 Light intensity dependence of the off current.
● O_2 plasma treatment
■ N_2 plasma treatment

● O_2 plasma treatment $V_g = -20\text{ V}$
■ N_2 plasma treatment $V_g = -20\text{ V}$
○ O_2 plasma treatment $V_g = +20\text{ V}$
□ N_2 plasma treatment $V_g = +20\text{ V}$

Fig. 7 Off current change of the TFTs under bias and temperature stress.

- O_2 plasma treatment
- N_2 plasma treatment

に、しきい値電圧 (V_{th}) の変動が重要となる³⁾。そこで、TFT の信頼性を評価するためにバイアスー温度ストレス (BTS) 試験を行った^{4),5)}。バイアス、温度のストレス条件としてゲート電圧 V_g は $+20\text{ V}$ および -20 V 、温度は 60°C で評価を行った。BTS 下での、TFT の V_{th} シフトを図 6 に、オフ電流の変化を図 7 に示す。なお、オフ電流はゲート電圧 $V_g = -4\text{ V}$ 、ソース電圧 $V_{ds} = 10\text{ V}$ で測定した。

その結果 N_2 プラズマ処理、 O_2 プラズマ処理いずれの場合でも、 V_{th} シフトはほとんど同じであるが、オフ電流の変化は N_2 プラズマ処理の方が、 O_2 プラズマ処理の場合に比べ小さいことが分かった。

通常 BTS 試験では、TFT 特性の変化は a-Si とゲート絶縁膜の界面、すなわちフロントチャネルの影響を受ける^{6),7)}。しかし、今回 N_2 プラズマおよび O_2 プラズマ処理を行った TFT は、プラズマ処理を除いては同じ条件で作製したため、フロントチャネルは同じ状態になっており、オフ電流の違いは、バックチャネルエッチング後のプラズマ処理によって起こったものと考えられる。

3. 5 プラズマ処理の効果

TFT オフ電流は、種々の発生機構があるが、バックチャネルにおける欠陥密度と空間電荷量の影響も強く受ける。すなわち、バックチャネルにおける欠陥は、その

エネルギー準位によって、リーク電流の元となる電荷の発生源となる場合(浅い準位)と、電荷をトラップして動きにくくする場合(深い準位)とがある。また、チャネル保護膜に存在する空間電荷はバックチャネルのフェルミレベルに影響を与え、オフ電流のゲート電圧特性に影響する。

今回のようにバックチャネル表面にプラズマ処理を施した場合は、バックチャネル界面の欠陥密度に影響を与えと考えられる。図 5 の活性化エネルギーからもわかるように、オフ電流に関係するバックチャネルの欠陥準位は O_2 プラズマ処理の場合も、 N_2 プラズマ処理の場合も変わらず、比較的浅い 0.27 eV 付近と、比較的深い 0.5 eV 付近のレベルである。従って、 N_2 プラズマ処理を行った場合には、 0.27 eV 付近の欠陥準位が低減、あるいは 0.5 eV 付近の比較的深いレベルが増加するためオフ電流が低減すると考えられる。

今回の評価では、チャネル領域はソース・ドレイン電極をマスクとしてドライエッチングを行ったが、a-Si TFT の製造プロセスにおいては、フォトリソでパターンを形成してチャネル領域のドライエッチングを行い、その後、 O_2 プラズマによるレジストアッシング処理を行う場合もある。そこで、 O_2 プラズマ処理の前後に N_2 プラズマ処理を行った場合のオフ電流特性について評価を行った。

図 8 に、 O_2 プラズマ処理の前後に N_2 プラズマ処理

Fig. 8 TFT characteristics of the TFTs with N_2 plasma treatment after and before O_2 plasma treatment.

- O_2 plasma treatment
- N_2 plasma treatment
- N_2 plasma treatment before O_2 plasma treatment
- · - · N_2 plasma treatment after O_2 plasma treatment

を行った TFT の特性を示す。O₂ プラズマ処理を行う前に N₂ プラズマ処理を行ったもの、O₂ プラズマ処理を行った後に N₂ プラズマ処理を行ったもの、O₂ プラズマ処理のみを行ったもの、N₂ プラズマ処理のみを行ったものの TFT 特性を各々示している。

それぞれのオフ電流特性を比較すると、N₂ プラズマ処理によるオフ電流の改善効果は、N₂ プラズマ処理前に O₂ プラズマ処理を行うと得られなくなること、N₂ プラズマ処理後に O₂ プラズマ処理を行うと改善効果がなくなることが分かった。

したがって、バックチャネルエッチング後に、レジストアッシングなどを目的とした O₂ プラズマ処理を行うことは、オフ電流特性を劣化させる要因となる。

4. 結 言

バックチャネルエッチング後のプラズマ処理が、サブスレッショルドの立ち上がり領域で、オフ電流に次のような影響を及ぼすことが分かった。

(1) プラズマ処理を行うことで、オフ電流の変動が抑えられ、安定したオフ電流特性が得られる。

(2) N₂ プラズマ処理を行うことで、温度や光照射の影響を受けずにオフ電流特性を改善できる。

(3) N₂ プラズマ処理前後に O₂ プラズマ処理を行うと、N₂ プラズマ処理によって得られるオフ電流特性の改善効果が消失する。

(Received June 15, 1998; Accepted January 11, 1999)

文 献

- 1) M. Ando, M. Wakagi, T. Watanabe and T. Minemura : IDW '96/AM-LCD '96 Digest, p.45 (1996)
- 2) K. Kawai, T. Sakurai, M. Katayama, T. Nagayasu, N. Kondo, Y. Nakata, S. Mizushima, K. Yano and M. Hijikigawa ; SID '93 Digest, p.743 (1993)
- 3) M. J. Powell ; *Appl. Phys. Lett.*, **43**, 597 (1983)
- 4) 金子好之, 折付良二, 塚田俊久 ; TV 学会技報, ED 903, 31 (1985)
- 5) M. Ikeda, M. Dohjo and T. Aoki ; *Jpn. J. of Appl. Phys.*, **26**, 1565 (1987)
- 6) M. Katayama, H. Morimoto, S. Yasuda, T. Takamatu, H. Tanaka and M. Hijikigawa ; SID '88 Digest, p.310 (1988)
- 7) S. K. Kim, K. S. Lee, J. H. Kim, C. H. Hong and J. Jang ; AM-LCD '95 Digest, p.129 (1995)