

# TFT 向け Cu 配線プロセス —新 Cu 合金により水素プラズマ耐性が改善—

白井雅紀\*, 高澤 悟\*, 石橋 暁\*, 増田 忠\*\*

## 1. はじめに

近年、デジタル放送の開始に伴い薄型テレビの大画面化や高精細化が進行し、画面寸法 40 型台、画素数 1920 × 1080 画素（フル HD）といった製品が広く普及するようになった<sup>1)</sup>。また、デジタル家電や高速インターネットの普及によるテレビの視聴スタイルの変化<sup>2)</sup>が進み、現行のデジタル放送の 4 倍もの画素数を持つ 4000 × 2000（4K × 2K）画素級の TFT-LCD パネルの開発が始まっている。4K × 2K 化の課題として、信号遅延と回路コストの増加が挙げられている。現在、駆動回路には Al 系配線が普及しているが、高速駆動を行うには配線抵抗が高い為、画面サイズが大きい場合には配線抵抗による信号遅延が生じる<sup>3)</sup>。対策としては、パネル両側にドライバー IC を配置し、パネルを幾つかの領域に分割して動作させる方式が採用されているが、部品の増加や回路構成の複雑化によりコストアップの一因となっている。高速駆動とコスト低減の課題の解決策として、Al 系材料より低抵抗の Cu 系材料の使用が望まれている<sup>4)</sup>。

Cu 膜には、下地との密着性の問題や Al 膜と同様に下地 Si 層との相互拡散等の問題がある。現状の Al 系配線では Mo や Ti 等のバリア層を必要としており、パネルのコストアップの一因となっている<sup>5)</sup>。Cu においても同様のバリア層が必要となるが、著者らは、下地との界面に Cu 合金酸化層を酸素混合スパッタリングにて形成することにより、良好な密着性及びバリア特性が得られることをこれまでに報告してきた<sup>6)</sup>。

しかし、最近の TFT 作製工程ではソース・ドレイン電極形成後に水素プラズマ処理を行う場合がある。その際 Cu 合金酸化層が還元され、密着性が劣化する問題が確認された。著者らは、Cu 合金の材料およびプロセス面から再検討した結果、Ca や Mg-Al を添加した Cu 合金の酸化層が水素プラズマ処理に対して良好な耐性を示すことを見出した。

## 2. TFT 作製工程の低コスト化

大画面の液晶テレビが普及するにしたがい、TFT-LCD パネルの価格も低下してきており、材料費や工程削減によるコストダウンが行われている。

TFT アレイは、成膜（スパッタリングまたは CVD）した後、マスク工程（レジスト塗布・露光・現像）、エッチング（Wet または Dry）、レジスト剥離の工程を数度繰り返すことにより作製される。通常、1 回のマスク工程につき 1 種のパターンが形成されエッチングを行う。TFT アレイは各種薄膜が積層された構造であるため数回のマスク工程を要しコストへの影響は大きい。

最近、1 回のマスク工程により数種の薄膜を連続してエッチング可能なハーフトーンマスクを用いたプロセスが実用化されている<sup>7)</sup>。本プロセスにより多工程を要するマスク工程が削減され、さらに設備も削減することができるため低コストプロセスとしてパネルメーカー各社で展開されている。

通常、フォトマスクは光の透過・遮断によりパターンを描写する。ポジ型フォトリソを用いた場合、光が透過し露光されたレジストは現像すると除去され、遮断された非露光部のレジストは現像後に残る。ハーフトーンマスクでは、部分的に細かいスリット（約 1 μm）を入れ、透過と遮断の中間にあたる半透過の光を用いる。半透過の半露光部のフォトリソは非露光部よりも薄い膜厚のフォトリソが形成される。図 1 に TFT アレイ構造、図 2 にハーフトーンマスクを用いた低コスト TFT 作製工程の一例を示す。

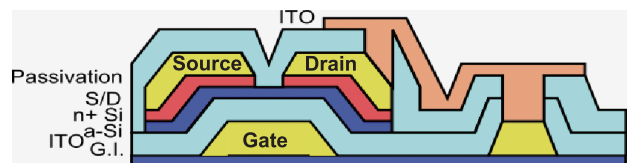


図 1 TFT アレイ構造

\* (株) アルバック 千葉超材料研究所

\*\* (株) アルバック マテリアル事業本部

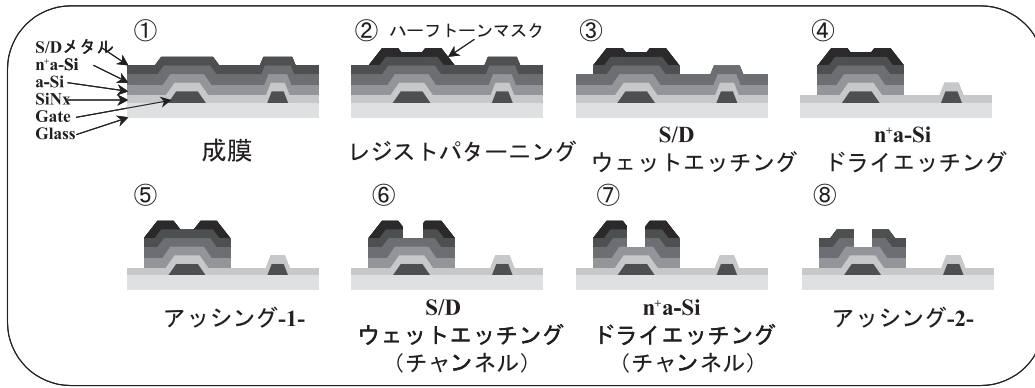


図2 低コスト TFT 作製工程の一例

**(1) 成膜**

低コスト TFT 作製工程ではゲート電極形成後、CVDによりゲート絶縁膜 (SiNx)、半導体層 (a-Si)、コンタクト層 (n+a-Si)、スパッタリングによりソース・ドレイン電極 (メタル) を連続して成膜する。

**(2) レジストパターンニング**

ハーフトーンマスクにてフォトレジストのパターンニングを行う。マスクは TFT のソース・ドレイン電極部の光を遮断、チャンネル部の光を半透過させる。これによりチャンネル部にはソース・ドレイン電極部に比べ膜厚の薄い形状となるフォトレジストを形成する。

**(3) メタル層ウェットエッチング**

ソース・ドレイン電極部をウェットエッチングにより形成する。

**(4) n+a-Si/a-Si 層ドライエッチング**

(3) 後、露出した Si 層をドライエッチングで除去する。

**(5) アッシング-1-**

アッシングによりフォトレジストは膜厚方向に対し均一にエッチングされる。そのため、膜厚の薄いチャンネル部分のフォトレジストは除去され、ソース・ドレイン電極部のみが残る。

**(6) チャンネル形成-1- (メタル層ウェットエッチング)**

TFT のチャンネル部のメタル膜をウェットエッチングにより除去する。

**(7) チャンネル形成-2- (n+a-Si 層ドライエッチング)**

チャンネル部の n+a-Si をドライエッチングにより除去する。

**(8) アッシング-2-**

残ったレジストを除去する。

ハーフトーンマスクを用いたプロセスは、1回のマスク工程により Si 層の Dry エッチング、メタル層の Wet エッチングを連続して行うことが可能となる。さらに

チャンネル部となるコンタクト層 (n+a-Si) の除去を新たにフォトマスク工程を施すことなく Dry エッチングすることができる。これより従来のフォトマスクプロセスよりも大幅に工程が短縮される。

また、今回例に示した TFT アレイ構造はチャンネル層上の保護膜が不要であることも特徴である。保護膜とはチャンネル形成工程の Dry エッチングにおける n+a-Si 層と a-Si 層とのエッチング選択比対策、また a-Si 層へのプラズマダメージ対策を目的としている。しかし保護膜を形成する場合、成膜、レジストパターンニング、エッチングの工程がさらに増えるためコストアップへの影響は大きい。

最近では保護膜を必要としない TFT アレイ構造が採用されている。n+a-Si 層と a-Si 層とのエッチング選択比問題については Dry エッチングプロセスの最適化が進み改善されている。しかし a-Si 層へのプラズマダメージは懸念され、その影響は TFT 特性の劣化を引き起こす。本対策として、チャンネル形成の後工程において水素プラズマ処理が実施されている。水素プラズマ処理は a-Si 層の Si のダングリングボンドを終端化させ TFT 特性劣化の問題を解決できる。

水素プラズマ処理はチャンネル形成後、CVD でのパッシベーション層 (SiNx) 成膜前に実施される。a-Si 層と同時にソース・ドレイン電極 (メタル配線) も水素プラ

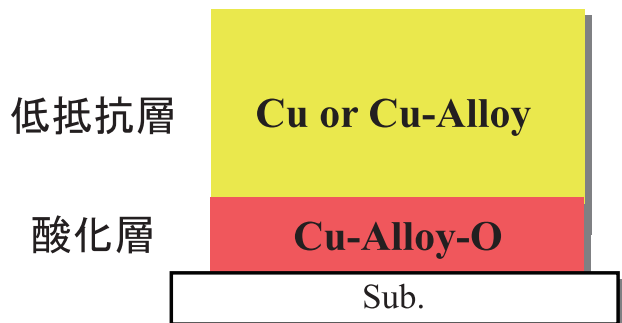


図3 Cu 配線プロセスの膜構成

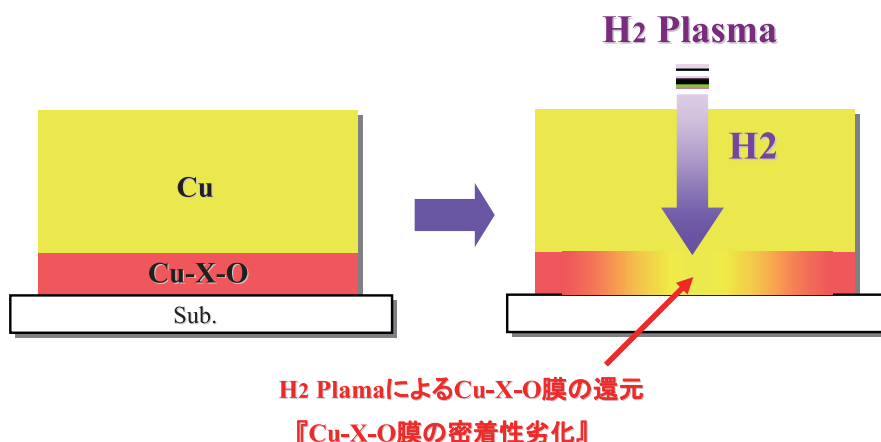


図4 水素プラズマ暴露による密着性劣化モデル

ズマに暴露される。したがって、低コスト TFT 作製プロセスではメタル配線の水素プラズマ耐性が要求される。

### 3. 酸素混合スパッタによる TFT 向け Cu 配線プロセス

#### 3. 1 Cu プロセスの膜構成と酸素ガス添加効果

下地との界面に Cu 合金酸化層を酸素混合スパッタリングにて形成することにより良好な密着性およびバリア特性が得られる。Cu 合金酸化層は下地との界面に Cu および合金添加元素の酸化物が析出され密着性およびバリア性が改善される。図3に TFT 向け Cu 配線プロセスの膜構成を示す。

#### 3. 2 低コスト TFT 工程への展開

前述に述べた低コスト TFT 作製プロセスではハーフトーンマスクの適用および保護膜レス化によって、ソース・ドレイン電極が露出した状態で水素プラズマに暴露される。これまでの Cu 合金酸化膜を密着兼バリア層と用いた場合、水素プラズマ処理によって密着性およびバ

リア性が劣化することが確認された。図4に水素プラズマ暴露による密着性劣化モデルを示す。水素プラズマ暴露により水素イオンが上層のメタル Cu 膜を透過し、下層の Cu 合金酸化膜を還元させることが確認された。本現象により、下地との界面に形成された Cu および合金添加元素の酸化物が還元され密着性が劣化されると考えている。

### 4. Cu-Ca 合金, Cu-Mg-Al 合金による水素プラズマ耐性の改善

TFT 作製工程の低コスト化は各社で展開されており、メタル配線の水素プラズマへの耐性は必須な要求特性とされる。我々は水素プラズマ耐性の改善のため従来の合金添加元素の酸化物よりも安定な酸化物が得られる添加元素を模索した。その結果、Ca や Mg-Al を添加した Cu 合金酸化層が水素プラズマに対して良好な耐性を示すことを見出した。

#### 4. 1 水素プラズマ後の密着性

表1に Cu-Ca 合金, Cu-Mg-Al 合金の水素プラズマ処

表1 Cu-Ca 合金, Cu-Mg-Al 合金の水素プラズマ耐性 [密着性]

Metal	as depo.	Sub. [Glass, n <sup>+</sup> a-Si, SiNx]					
		After H <sub>2</sub> Plasma			After H <sub>2</sub> Plasma + SiNx depo.		
		Power density [W/cm <sup>2</sup> ]			Power density [W/cm <sup>2</sup> ]		
		0.6	0.8	1.0	0.6	0.8	1.0
Cu/Mo/sub.	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Cu/Cu-Mg-O/sub.	OK	NG	NG	NG	NG	NG	NG
Cu/Cu-Ca-O/sub.	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Cu/Cu-Mg-Al-O/sub.	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Tape test により評価 (全ての grid において剥離無しの場合を OK, 1grid でも剥離した場合を NG と判断)

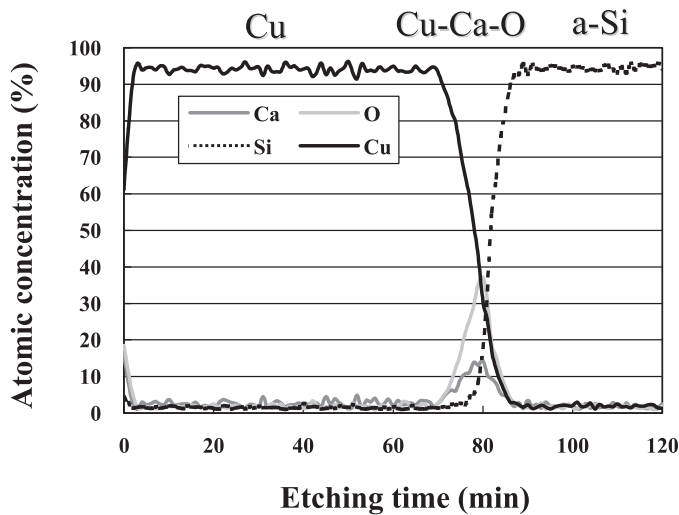


図5 Cu-Ca合金の水素プラズマ処理後におけるバリア性評価 (AES分析)

理後の密着性結果を示す。Cu合金の下地としてガラス基板、n<sup>+</sup>a-Si膜、SiN<sub>x</sub>膜の3種についてテープテストにより評価した。また密着層としてMo膜および従来のCu合金酸化膜であるCu-Mg-O膜についても比較した。水素プラズマは以下の条件で実施した。

[水素プラズマ]

- ・ H<sub>2</sub> Pressure : 200Pa
- ・ Power density : 0.6, 0.8, 1.0W/cm<sup>2</sup>
- ・ Tsub. : 250°C
- ・ Time : 60sec.

またパッシベーション (SiN<sub>x</sub>) の成膜工程を想定し、水素プラズマ処理した後 SiN<sub>x</sub> 膜を連続形成した場合の密着性についても評価した。

Cu-Mg-O膜を密着層と用いた場合、as depo. では良好

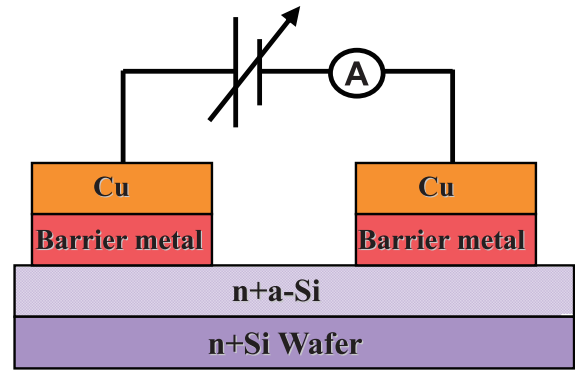


図6 コンタクト特性評価用素子

な密着性が得られているが水素プラズマ処理により密着性は劣化した。

一方 Cu-Ca-O 膜, Cu-Mg-Al-O 膜を密着層と用いた場合, 水素プラズマ処理およびその後 SiN<sub>x</sub> 膜を成膜しても良好な密着性が得られた。また下地がガラス基板, n<sup>+</sup>a-Si 膜, SiN<sub>x</sub> 膜においても同様の結果を得た。これら結果より下地との界面に形成された Ca 含有酸化物および Mg-Al 含有酸化物が水素プラズマに還元されることなく強固な密着性を維持していると考えられる。

#### 4. 2 水素プラズマ後のバリア性

低コスト TFT 工程におけるソース・ドレイン電極への応用を想定してバリア特性評価を行った。まずガラス基板に CVD により a-Si 膜 (300 nm) を形成し、その上に酸素混合スパッタによる Cu-Ca 酸化層 (50 nm) 及び低抵抗層の Pure Cu (300 nm) を連続形成した。その後、前述と同条件の水素プラズマに暴露した。続いて、真空中 350°C, 1 時間のアニール処理を行い、AES 分析による膜厚方向に対する組成分析を行った。図5の AES 結果より a-Si 層中への Cu の拡散がみられず、界面に形成

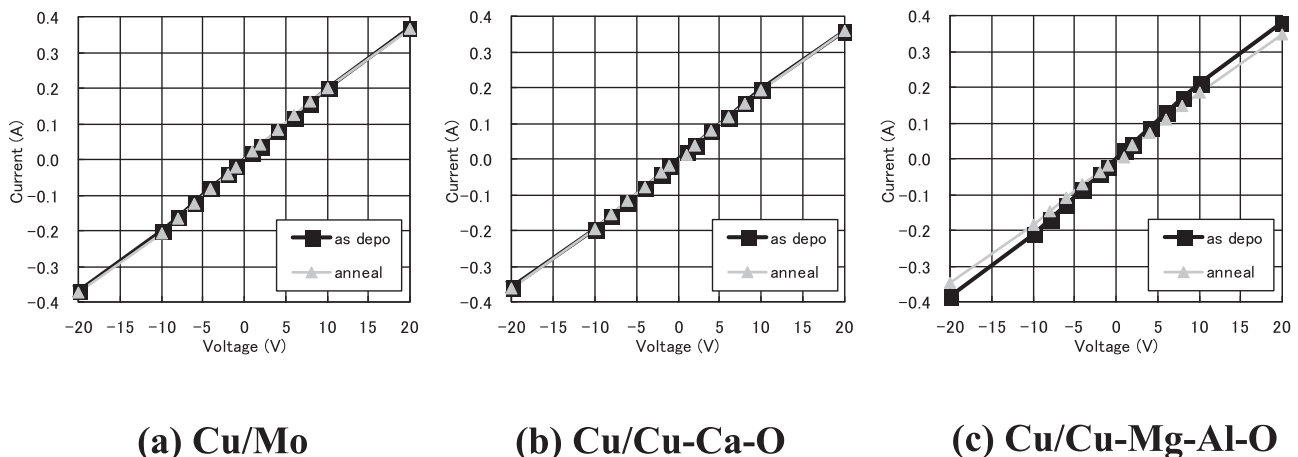


図7 各バリア膜の n<sup>+</sup>a-Si とのコンタクト特性

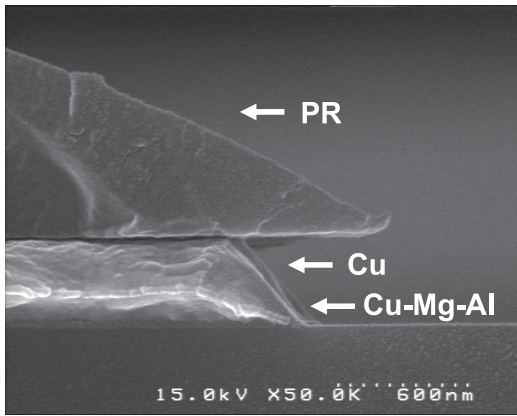


図8 Cu / Cu-Mg-Al / ガラスの Wet エッチング後の断面形状 (SEM)

された Ca 含有酸化物が水素プラズマ耐性かつバリア特性に優れていると確認できる。

#### 4. 3 n<sup>+</sup>a-Si 膜とのコンタクト特性

ソース・ドレイン電極への応用を想定して n<sup>+</sup>a-Si 層との電気的コンタクト特性について評価を行った。評価サンプルの作製手順は n<sup>+</sup>Si ウェーハ上に CVD にて n<sup>+</sup>a-Si 膜 (300 nm) を形成し、その上に酸素混合スパッタによる Cu-Ca 酸化層または Cu-Mg-Al 酸化層 (50 nm)、続いて低抵抗層の Pure Cu (300 nm) を連続形成した。評価サンプルの素子構造を図6に示す。

評価は as depo. および真空中 350℃, 1 時間のアニール処理を行い測定した。また比較のために上層 Cu のバリア層として Mo を用いたものについても評価した。

図7 (a) は Mo 膜をバリア層に用いた時の結果であり、アニール処理後においても as depo. と同等の V-I 特性が得られている。

一方、図7 (b) および (c) は Cu-Ca-O 膜, Cu-Mg-Al-O 膜をバリア層に用いた結果である。本結果より各 Cu 合金の n<sup>+</sup>a-Si 膜とのコンタクト特性は Mo 膜と同等の結果といえる。またアニール処理後においても as depo. と同等の V - I 特性であり熱処理による劣化は無いと判断できる。

#### 4. 4 ゲート電極向け Cu-Mg-Al 密着層の適用

Cu-Ca 合金および Cu-Mg-Al 合金を用いた Cu 配線プロセスは低コスト TFT 工程へ対応できる技術として紹介した。さらに Cu-Mg-Al 合金には他の Cu 合金にはない特徴を有している。Cu-Mg-Al 合金の場合、酸素混合スパッタ不要でもガラスとの強固な密着性が得られる。つまり Cu-Mg-Al 合金を用いたプロセスでは密着層として Ar ガスのみでスパッタした膜を適用できる。

図8に Cu-Mg-Al 膜を Ar ガスのみで形成し、低抵抗

層の Cu を連続形成した積層膜における Wet エッチング後の断面 SEM を示す。1 液エッチングで良好な断面形状が得られている。密着層として低抵抗層の Cu と異種材料を用いる場合、その積層膜を Wet エッチングすると電池反応 (ガルバニック腐食) が発生することがある。これにより低抵抗層と密着層のエッチング速度に差が生じ、良好なテーパ形状が得られないことがある。特に Mo などの材料は Cu との電池反応への影響が大きいことが知られている。今回紹介した Cu-Mg-Al 密着層として用いた積層膜のエッチング加工は安易である。

## 4. まとめ

TFT 配線として現在主流の Al 系配線に替わる Cu 合金材料を用いた Cu 系配線として紹介した。本プロセスは現在展開されている低コスト TFT 作製工程へも対応可能な Cu 配線である。また、バリアメタルを用いないことから配線材料は安価となり、大型 TFT パネルの製造プロセスのコストダウンに貢献できる。さらに、現在開発が進められている 4k × 2k などの高精細画素パネル、倍速または 4 倍速といった駆動速度の高速化への展開に対しても重要な技術として予想される。

また Cu 合金酸化膜および Cu-Mg-Al 合金メタル膜は下地との良好な密着性を示す。Cu 膜の懸念である密着性を改善することができることから TFT 以外の電子デバイスへも展開できると期待される。

## 参考文献

- 1) 佐伯 真也:「美に挑む規格外テレビ」, 日経エレクトロニクス, 2-9, No.997, P39, 2009.
- 2) Lai-Juh Chen:「新ライフ・スタイル戦略」, 技術戦略編日経 FPD2009, P62, 2009.
- 3) 北原 洋明:「LCD: アクティブ型液晶ディスプレイ技術の全容」, 基礎技術編日経 FPD2006, P36, 2006.
- 4) Sweta Dash:「価格低下は市場拡大に不可欠第3の大型市場, テレビで勝つ」, 実務編日経 FPD2006, P110, 2006.
- 5) M.Ben-Tzur ほか: “Modifications in the interfacial reaction between thin films of Ti and Al due to alloying the Al with Si,” J. Vac. Sci. Technol.: A8 (6), P4069, 1990.
- 6) S.Takasawa, et al.: IDW' 08 Digest P95, 2008.
- 7) 粕谷 陽介:「高精細化・大型化が進む FPD 用フォトマスクの最新動向」, Semiconductor FPD World, P83, 2006/6.