

# LTPS向け高耐熱アルミニウム合金 SA-HT

# A

フラットパネルディスプレイは液晶ディスプレイが主流となっており、液晶を制御する薄膜トランジスタ(TFT)には400℃以下の温度で製造可能なアモルファスシリコンTFTが主に用いられてきた。一方で、最近の高精細化やドライバICの内蔵といった市場要請に応える技術として低温ポリシリコン(LTPS)TFTが中小型液晶を中心に増加しつつある。さらに、急速に増えつつある有機ELディスプレイ(OLED)でも、TFTの特性劣化がOLEDの輝度低下に直結することから、アモルファスシリコンTFTよりも経時劣化が少ないLTPS-TFTが主流である。このように、液晶や有機ELを用いた中小型ディスプレイを中心にLTPS-TFTの採用が増加基調にある。

LTPS-TFTは600℃前後の比較的高温での熱処理プロセスを必要とすることから、ゲート配線に高融点金属であるモリブデンなどが従来用いられてきた。しかしながら高融点金属の配線抵抗は高く、さらなる高精細化や細線化の実現に対して低抵抗材料の要求があった。そこで、低抵抗でかつ耐熱性を兼ね備えた材料として、600℃の耐熱性を有する高耐熱性アルミニウム合金(SA-HT: Super Aluminum Heat Tough)を開発した。従来の代表的なゲート配線材料であるモリブデンの電気抵抗率は10μΩcm以上であったが、SA-HT薄膜は1/2以下の5μΩcm程度と低抵抗化を実現した。この特性は、配線の細線化や膜厚低減を可能とし、デバイスデザインの自由度をあげることからLTPS-TFTのゲート配線に適した材料である。

本報では、まずLTPS-TFTの工程およびゲート配線材料に要求される仕様を述べ、続いて開発材の特性を紹介する。



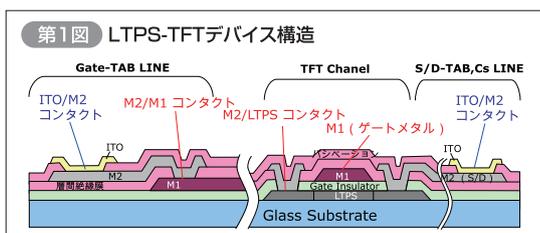
ターゲット事業本部  
技術部 技術室  
大元 誠一郎

## A-1 LTPS-TFTの製造工程とゲート配線材に対する要求特性

LTPS-TFTの製造プロセスにおいて、ゲート配線を形成した後P型ドーパントであるボロンやN型ドーパントであるリンを活性化させる通常500~600℃の高温熱処理プロセスがある。したがって、ゲート配線材料にはこの温度域での耐熱性が要求される。また、上述したように高精細化にともなう細線化は、配線抵抗の上昇を招くことから、細線化に対応できる低抵抗材料が求められている。加えて、配線加工性や薬液耐性など製造プロセスに耐える諸特性が必要とされる。

### 1-1 LTPS-TFTの構造および製造工程

LTPS-TFTデバイスとして代表的なトップゲート構造の断面模式図を第1図に示す。主にゲート配線として用いられるM1ラインはトランジスタ近傍に孤立しており、パネル外周部へのゲート電極の取出しは、ソースドレイン配線として用いられるM2ラインにつなぎかえる手法が主流となっている。代表的な製造プロセスを以下に示す。



- ①→シリコンCVD成膜
- ②→シリコン結晶化前の脱水素熱処理
- ③→シリコン結晶化(ELAなど)
- ④→結晶化シリコンのパタニング(MASK1)
- ⑤→チャンネルドーピング(MASK2)
- ⑥→ゲート絶縁膜成膜
- ⑦→M1層(ゲートメタル)成膜
- ⑧→M1パタニング(MASK3)
- ⑨→nチャンネルドーピング(MASK4)
- ⑩→pチャンネルドーピング(MASK5)
- ⑪→活性化熱処理
- ⑫→増幅絶縁膜成膜
- ⑬→コンタクトホールエッチ(MASK6)
- ⑭→M2層(ソースドレインメタル)成膜
- ⑮→M2パタニング(MASK7)
- ⑯→バンパシオン成膜
- ⑰→コンタクトホールエッチ(MASK8)
- ⑱→ITO成膜
- ⑲→ITOパタニング(MASK9)

### 1-2 ゲート配線材に必要とされる要求特性

#### 1-2-1 耐熱性

活性化熱処理の工程⑪は、⑤と⑨および⑩でイオン打ち込みしたボロンやリンを活性化する500~600℃程度の熱処理プロセスである。LTPS-TFTデバイスの製造プロセスを通じて、ゲートメタルにかかる熱負荷がもっとも高い工程となっている。したがって、600℃での耐熱性がM1材料に対する最も重要な要求特性となる。薄膜材料への耐熱性要求に関する詳細は2-1で述べる。

#### 1-2-2 低電気抵抗

パネルを高精細化するには、デバイスのデザインを微細にする必要があり、ゲート配線は細線化される。たとえばゲート配線加工にドライエッチング手法を適用することで、ウェットエッチングでの線幅限界が2.5μm程度であったのに対し、1μm幅の配線加工が可能になる。細線化は配線抵抗の直接的な上昇を招く。配線膜を厚くすることで配線抵抗を維持できるが、膜を厚くすると成膜時間の増大によるスループットの減少や、上部相関絶縁膜との積層時に配線端部でのカバレッジ不良が生じやすくなるなどのデメリットがある。したがって、M1材料はより低抵抗であることが望まれる。ドライエッチング適用などによる線幅1μmの実現を膜厚変更なく達成するには、従来材の半分以下の抵抗が必要とされる。

#### 1-2-3 配線加工性

ゲート配線の加工工程である⑧M1パタニングにおいて

は、レジストの露光および現像をともなうエッチング加工が行われる。エッチングには混酸薬液を用いたウェットエッチングのほか、反応性ガスを用いたドライエッチングがある。一般にウェットエッチングは、メンテナンス負荷が少なく量産適応性が高いとされている。しかしながら、画素ごとのTFTを駆動するための回路をパネル外周部にLTPSで同時形成したり、モバイル用途では表示エリアを広げつつ額縁を狭くする傾向にあることなどの理由で、細線化すなわちドライエッチングの必要性が高まっている。そのため、M1材料はウェットだけでなくドライでのエッチング加工が可能であることが望ましい。

#### 1-2-4 エッチストッパー機能

ソースドレイン配線として用いられるM2をLTPSやM1

とコンタクトするために絶縁膜を開口するプロセスが⑬コンタクトホールエッチ工程である。第1図のM2/M1コンタクト部とM2/LTPSコンタクト部とを同時に開口する手法が一般的であり、相関絶縁膜とゲート絶縁膜とを連続的にエッチングする。したがって、M2/M1コンタクト部のM1表面は、相関絶縁膜が除去された後ゲート絶縁膜のエッチングが完了するまでの間、エッチング環境に暴露されるので、M1材料はゲート絶縁膜や相関絶縁膜がエッチングされる環境下ではエッチングされないことが求められる。ここでM1の膜減りが顕著だと、M2/M1のコンタクト不良を招く。言い換えると、絶縁膜エッチング時の選択性を確保すること、すなわち、ゲート配線膜にはプロセス中のエッチストッパーとしての機能が求められることとなる。

## A-2 SA-HT アルミニウム合金の特性

### 2-1 耐熱性

耐熱性を向上させた代表的アルミニウム合金材料としてAl-Nd合金がある。Nd添加が母材アルミニウムに対して固溶強化の作用を発現していることに加え、再結晶による膜の軟化や非局所的なAl-Nd系化合物の析出挙動による膜内応力緩和が、昇温過程での膜の降伏を抑制しており、Al-Nd合金は400℃の耐熱性を示す\*1)。SA-HTでは複数の微量元素を添加することで、耐熱性を600℃にまで高めている。

配線材料に対する一般的な耐熱要求として、形状変化や配線抵抗上昇がないことが求められる。形状変化が問題となる代表例として、ヒロック現象が生じた純アルミニウムの表面SEM像を第2図に示す。金属系材料はガラスなどの一般的な基板材料よりも熱膨張係数が大きい。ことにアルミニウム系材料の熱膨張係数は $23 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 以上と大きい。ガラス基板上的金属薄膜を成膜時温度よりも高温状態にすると、金属材料には圧縮応力が生じる。この応力を開放するために、アルミニウムにおいては150℃以上で膜表面に体積を吐き出す現象が認められ、膜厚を上回る高さの突起にまで成長することもある\*2)\*3)。この突起をヒロックと呼ぶが、デバイス内で発生すると異なる電極層間の短絡を引き起こし、デバイス動作不良の原因となる。

第3図にアルミニウム系材料のヒロック密度の温度依存性を示す。SA-HTのヒロック密度は、400℃耐熱性を有するAl-Ndと同等のレベルを600℃で実現している。これら昇温過程での形状変化の抑制には、化合物の析出を利用した膜内応力低減が耐熱性向上に有効とされているが、SA-HTでは複数の元素を含有しているた

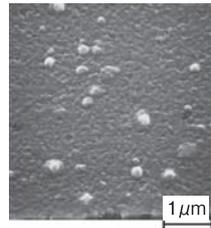
めに、600℃以下の複数の温度域でそれぞれ異なる化合物を含む析出挙動が起こり、各温度域で圧縮応力を抑制していると考えている。

熱負荷過程での形状変化には、上述したヒロックのほか、配線端面の形状変化が断線不良原因になることが知られている。これは高温で応力緩和した後の降温過程において、膜内に引張応力が発生し、線が局所的に細ったりボイドが生じたりすることで応力緩和することによる。第4図に配線加工したSA-HT膜に600℃で15分間の熱負荷を与えた後の配線形状を示す。配線端面のストレート性は保たれており、昇温過程および降温過程ともに、形状変化は生じていない。純アルミニウムの降温過程で見られるボイドや、配線が局所的に細る現象は、粒界を起点に発生するとされている。しかし、SA-HTでは第5図に示すように母相の結晶粒成長が抑制されており、ボイドの起点となりうる粒界が多数存在するにもかかわらず、第4図の配線端面のストレート性からわかるようにボイドは認められない。SA-HTでは微量添加元素の一部がアルミニウム中に固溶状態で残留し固溶強化された状態にあることが容易に想像され、ボイド形成の抑制に寄与しているものと考えられる。

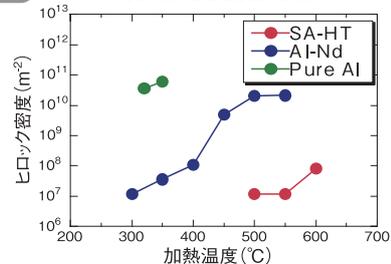
#### 参考文献

- \*1) 大西隆ほか: R&D 神戸製鋼技報/Vol.48, No.3 (Dec. 1998) 29
- \*2) Takashi Onishi et al.: Thin Solid Films 340 (1999) 306
- \*3) Eiji Iwamura et al.: Thin Solid Films 349 (1999) 191

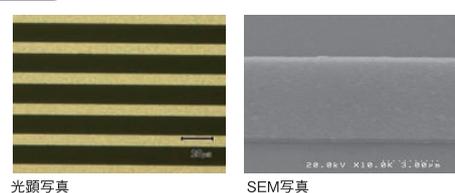
第2図 ガラス基板上に室温成膜した純アルミニウム薄膜を400℃で1時間熱処理した表面SEM像



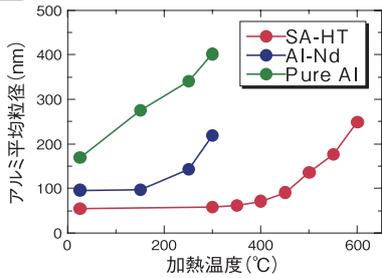
第3図 ヒロック密度の熱処理温度依存性



第4図 配線加工後SA-HT膜の熱処理後表面



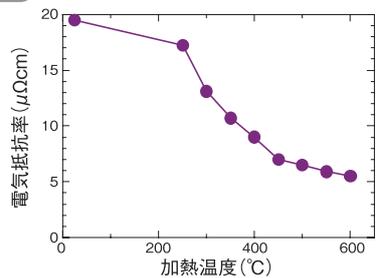
第5図 アルミニウム平均粒径の熱処理温度依存性



## 2-2 低電気抵抗

SA-HTの電気抵抗率を第6図に示す。純アルミニウムのバルク電気抵抗率が2.8~3.0 $\mu\Omega\text{cm}$ であるのに対し、SA-HTは室温成膜直後で20 $\mu\Omega\text{cm}$ と高い。しかしながら、熱処理温度の上昇とともに抵抗減少し、600 $^{\circ}\text{C}$ 熱処理後は5 $\mu\Omega\text{cm}$ となる。これは、複数の添加元素がさまざまな温度域で多相析出し、純アルミニウム組成に近いマトリクスが拡大することと、同領域でのアルミニウム純度が向上することによる。また、600 $^{\circ}\text{C}$ 以下の温度範囲において、温度上昇とともに抵抗が上昇する傾向が認められないことから、周辺材料との明らかな相互拡散はないと考えられる。

第6図 SA-HT膜の電気抵抗率



## 2-3 配線加工性

エッチング加工においてはエッチング速度を確保しつつ残渣が生じないこと、および上部層間絶縁膜とのカバレッジ性が確保できる配線端部形状が得られることが求められる。

SA-HT薄膜のウェットエッチング後にフォトレジストを剥離した後の断面SEM像を第7図に示す。SA-HTの膜厚は300nmとした。エッチング液組成は、燐酸:硝酸:酢酸:水=70:10:1.9:18.1 (wt%)とし、液温40 $^{\circ}\text{C}$ でエッチングを行った。ジャストエッチングに38秒を要し、50%のオーバーエッチを適用した。エッチング速度は純アルミニウムと比べて約2倍が得られている。エッチング残渣やテーパ

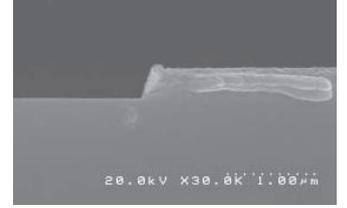
SA-HTアルミニウム合金は600 $^{\circ}\text{C}$ の耐熱性を有していることのほか、低抵抗で加工性・エッチング性においてもトップゲート型LTPS-TFTのゲート配線材料に適していることを明らかにした。SA-HT材料が有する高耐熱かつ低抵抗を兼ね備えた特性は、ここで示したLTPS-TFTに限定されるものではなく、たとえ

部の底はなく、約70度のテーパ角が得られている。層間絶縁膜を積層した場合のカバレッジ性は確保できると考えられる。

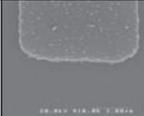
一方ドライエッチングでは、TCP (Transfer-Coupled Plasma) ドライエッチング装置を用いた。Ar/Cl<sub>2</sub>比を300:180とし、ガス圧15mTorr、投入電力をRF500Wとした。

純アルミニウムとSA-HTのドライエッチ後の表面および断面SEM像を第8図に示す。SA-HT、純アルミニウムともにエッチング残渣は認められない。配線端部のテーパ形状もよく、層間絶縁膜のカバレッジ性も問題ないと思われる。SA-HTのエッチング速度は純アルミニウムより20%低下しているが、量産適用可能な範囲と思われる。

第7図 SA-HT薄膜のウェットエッチング後の断面SEM写真



第8図 ドライエッチング後の配線加工形状

	純Al	SA-HT
ドライエッチングレート	18nm/sec	14nm/sec
トップビュー		
断面形状		

## 2-4 エッチストップ機能

M2/M1コンタクト部とM2/LTPSコンタクト部を同時に開口するコンタクトホールエッチングでは、M1のエッチングレートをゲート絶縁膜や相関絶縁膜を構成するSiNやSiO<sub>2</sub>のそれと比べて十分に小さくする必要がある。絶縁膜のエッチングにはフッ素系の反応性ガスを用いたドライエッチングやフッ酸系でのウェットエッチングがある。

SA-HTとSiNおよびSiO<sub>2</sub>に対するエッチング速度を第1表に示す。

ドライエッチングではTCP (Transfer-Coupled Plasma) ドライエッチング装置を用い、反応性ガスには

CHF<sub>3</sub>:Ar=60:100を用いた。一方、ウェットエッチングでは、HF 6wt%およびNH<sub>4</sub>F 30wt%とからなるバッファードフッ酸を用いた。600 $^{\circ}\text{C}$ での熱処理を施したSA-HT膜を用いた結果を示している。

ドライエッチングに対してはSA-HTの膜減りは認められず、SiNやSiO<sub>2</sub>との選択性は十分確保されている。バッファードフッ酸によるウェットエッチングにおいてもSA-HTのエッチング速度は十分に低く抑制されている。通常、M2に対するオーバーエッチは最大30秒程度であり、実用上問題ないと思われる。

ばIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) などの大電流出力が求められるパワー半導体向け電極材料にも適用可能であると考えている。本材料は、その特性を生かして、他のアプリケーションにも幅広く波及することが期待できる。

第1表 絶縁膜のエッチング条件におけるSA-HT材料の選択性

	SiN	SiO <sub>2</sub>	SA-HT
ドライエッチング (CHF <sub>3</sub> :Ar = 60:100)	53 nm/分	58 nm/分	エッチングされない
ウェットエッチング (HF 6%, NH <sub>4</sub> F 30%)	16.1 nm/分	16.6 nm/分	1 nm/分