

(技術資料)

LPTS ゲート配線向け高耐熱性アルミニウム合金材料

Highly Heat-resisting Al-alloy Material for Gate Interconnection of LPTS



奥野博之*¹
Hiroyuki OKUNO



後藤裕史*²
Hiroshi GOTO



釘宮敏洋*² (博士(工学))
Dr. Toshihiro KUGIMIYA

New highly heat-resistive Al-alloy films for the gate interconnection of low-temperature polysilicon (LPTS) thin film transistors (TFTs) were developed by the precipitation control of aluminum intermetallic compounds with additional element adjustment. The Al-0.5at%Ge-0.2at%Nd based alloy film is found to be effective in suppressing hillocks up to 600°C with a low resistivity of 5.3μΩcm. In addition, microfabrication by dry etching is possible. Therefore, this new Al-alloy thin film is suitable for the high-resolution LPTS displays used in smart phones and tablet PCs of the next generation.

まえがき = 近年、液晶ディスプレイ (Liquid Crystal Displays, 以下LCDsという) は、スマートフォンやタブレットPC、テレビなどで幅広く使用されている。スマートフォン用のLCDsではフルハイビジョン以上に高精細化が進み、現在では500pixel/inch (以下, ppiという) を超す高精細ディスプレイが登場し、またディスプレイサイズの大型化が進んでいる¹⁾。

液晶ディスプレイの各画素の駆動には薄膜トランジスタ (Thin Film Transistor, 以下TFTという) が用いられている。一般的には半導体材料としてアモルファスシリコン (Amorphous Silicon, 以下a-Siという) が用いられてきた。しかしながら、400ppiを超す高精細LCDsではTFTの動作速度も高速になり、従来のa-Siと比較して300倍以上のキャリア移動度の低温ポリシリコン (Low Temperature Poly Silicon, 以下LPTSという) が必須とされている (図1)²⁾⁻⁷⁾。

a-Si TFTのプロセス温度は400°C以下であり、ゲート配線では耐熱性と電気抵抗率を両立するAl合金配線が主流であった。しかし、LPTS-TFTの製造プロセスに

おいては、ゲート配線に550°C以上の高温が加わるため、耐熱性の問題で従来のAl合金配線が使えず、Moなどの高融点金属が配線として適用されている⁸⁾⁻¹⁰⁾。しかしながらこれらの配線は、電気抵抗率が約12μΩcm以上とAl合金配線の4~5μΩcmと比べて大きい点が問題である。とくに、さらなる高精細化を図る際には、TFTのスイッチング特性の劣化による画面表示ムラの原因になるため、ゲート配線の低抵抗化が必要である。

代表的な耐熱Al合金としては、Al-Nd (耐熱温度約400°C) があるが、550°C以上のプロセス温度ではヒロック発生の抑制が困難であった。ヒロックは、ガラス基板とAl合金薄膜の熱膨張係数の差により生じる膜応力勾配を駆動力として発生する。膜内部側から膜表面へのAl原子のAl結晶粒界拡散により、膜表面に生じるドーム状の欠陥である。図2に純Alの330°C熱処理時のヒロック発生例を示す。ヒロックは、上部に形成される絶縁膜の破壊とそれに伴うリーク電流の増加、および絶縁膜上に形成される配線のオープンやショートなどを引き起こす要因となる¹¹⁾ ことから、さらなる高耐熱性Al合金

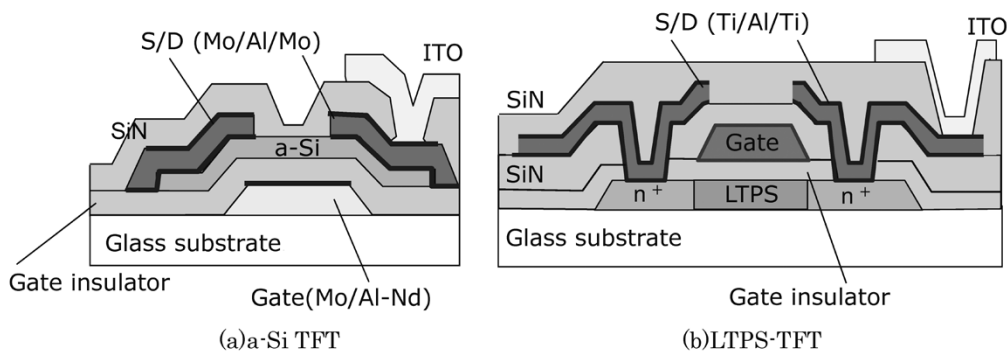
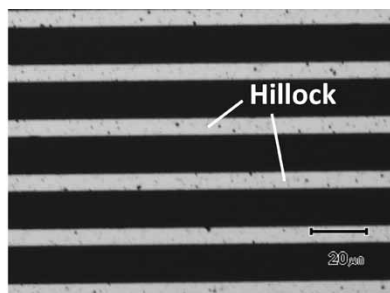
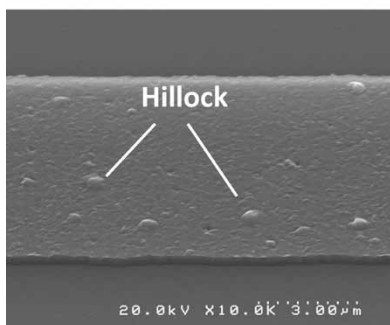


図1 TFT断面構造
Fig.1 Cross sectional views of TFT

*¹ (株)コベルコ科研 ターゲット事業本部 技術部 *² 技術開発本部 電子技術研究所



(a) Optical microscope image



(b) SEM image

図2 330°C, 20分間熱処理した純Al薄膜表面

Fig. 2 Surfaces of pure Al films after annealing at 330°C for 20min.

のニーズが高まっている。

本稿では、Al合金薄膜中に過飽和に固溶した元素の粒界析出や、それによる粒成長の制御により、600°Cまでの高耐熱性と低電気抵抗率を両立し、LTPS-TFTのゲート配線に使用可能なAl-0.5at%Ge-0.2at%Nd系Al合金材料（以下、SA-HT602という）について報告する。

1. SA-HT602の耐熱性

1.1 SA-HT602の合金設計

1.1.1 Al-Nd合金薄膜の耐熱性メカニズム

Al-2at%Nd合金薄膜の熱処理温度と電気抵抗率およびヒロック密度の関係を図3に示す。熱処理温度の上昇に伴って電気抵抗率は低下し、一方でヒロック密度は増加した。電気抵抗率の低下は、スパッタリング成膜直後にAlマトリックス中に強制固溶状態にあるNdが粒界に排出されるために生じる。一方、ヒロック密度は、Ndの粒界析出がほぼ完了して電気抵抗率が低下した後から急激に増加している。これは、Alの粒界三重点に析出してAlの粒界拡散を抑制するAl₄Nd析出物が、温度上昇に

伴うAl粒成長によって粒界における分散状態が維持できなくなり、ヒロック抑制効果が低減するためと考えられる。なお、実用上で許容されるヒロック密度は一般的に10⁹(m⁻²)程度とされており、Al-2.0at%Nd合金では約400°Cが耐熱限界である¹²⁾⁻¹³⁾。

したがってAl-Nd合金は、プロセス温度400°C未満のa-Si TFTには用いることができるが、プロセス温度が550°Cを超えるLTPS-TFTに用いることはできない。

1.1.2 SA-HT602合金薄膜の合金設計

熱処理温度の上昇に伴うヒロック密度の増加を600°Cの高温まで抑制するためには、Ndを含む析出物を結晶粒界に微細分散させ、Alの粒界拡散を阻害することが有効であると考えた。さらに、Nd含有化合物の微細分散を行うためには、Ndよりも低い温度で先に結晶粒界に排出されるとともに、Ndと金属間化合物を形成する元素群の添加が有効であると考えた。このような元素群にはSi, Ge, Cuなどがあるが、SA-HT602ではGeを複合添加したAl-Ge-Nd系を選択し、耐熱性向上効果について検討を行った。

図4に成膜後のAl-0.5at%Ge合金薄膜および350°C加熱後のSA-HT602合金薄膜のTEM像を示す。図4(a)に示したように、Ge添加によって、成膜直後にGeが粒界三重点にすでに析出しており（図中の矢印）、微細分散していることが確認できた。また図4(b)から、SA-HT602合金薄膜では350°Cの熱処理後も粒成長は発生し

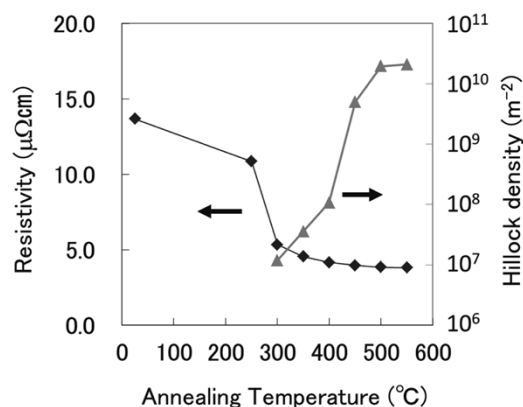
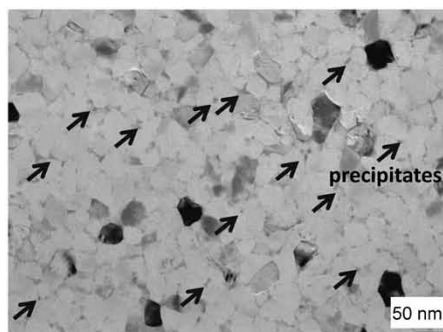
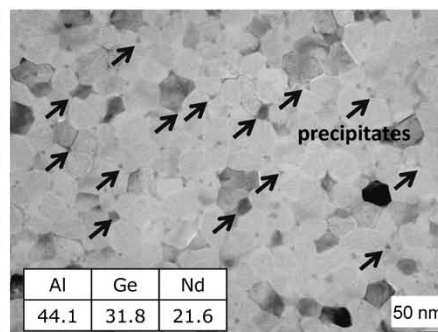


図3 Al-2at%Nd合金薄膜の熱処理後電気抵抗率およびヒロック密度の関係

Fig. 3 Relationship between resistivity and hillock density in Al-2at%Nd alloy film and annealing temperature



(a) As-deposited Al-0.5at%Ge alloy film



(b) Al-0.5at%Ge-0.2at%Nd based alloy film after annealing 350°C for 20min.

図4 平面TEM像

Fig. 4 Plane-TEM images

ておらず、さらに粒界にはAl-Ge-Ndの化合物が析出し(図中の矢印)微細分散されていることが確認できた。

1.1.3 耐熱性評価

図5にSA-HT602合金薄膜の熱処理温度とヒロック密度との相関を示す。SA-HT602合金薄膜では、熱処理温度600℃においてもヒロック密度は約 10^8 (m^{-2})と良好な耐熱性を示した。また図6に600℃で20分熱処理した後のSA-HT602合金薄膜の表面観察結果を示す。Al-Nd合金薄膜と比べて大幅に耐熱性が向上していることが明らかとなった。

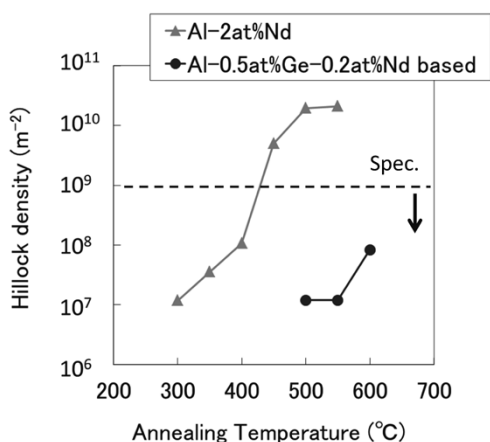


図5 Al-0.5at%Ge-0.2at%Nd系合金膜のヒロック密度の熱処理温度依存性

Fig. 5 Annealing temperature dependence of hillock density of Al-0.5at%Ge-0.2at%Nd based alloy film

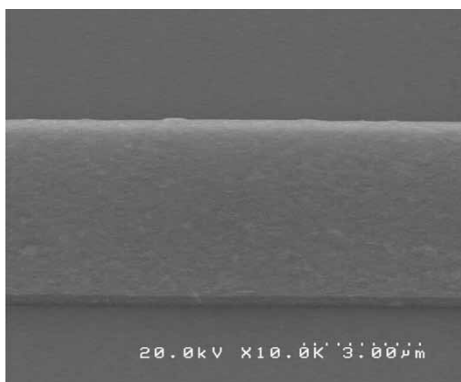


図6 600℃、20分間熱処理したAl-0.5at%Ge-0.2at%Nd系合金膜の表面SEM像

Fig. 6 SEM image of the surface of Al-0.5at%Ge-0.2at%Nd based alloy film after annealing at 600℃ for 20min.

したがって、Geの添加によるAl結晶粒界の析出物微細分散強化によるAl結晶粒成長抑制が、600℃の高温まで持続したと考えられる。このSA-HT602合金薄膜は、LTPS-TFTの製造プロセスでゲート配線に加わる熱処理に対して十分な耐熱性を有していることが確認された。

2. SA-HT602の諸特性

2.1 電気抵抗率

SA-HT602の熱処理温度600℃までの電気抵抗率変化を図7に示す。600℃の熱処理後に $5.3\mu\Omega cm$ と、純Moの電気抵抗率 $12\mu\Omega cm$ と比較して1/2以下の低い電気抵抗率が得られた。SA-HT602合金薄膜の電気抵抗率は、600℃に達するまで緩やかに低下していることがわかる。これは600℃までの間にGe、Ndなどの合金添加元素が継続的に析出し続けたためである。

2.2 ドライエッチング加工性

SA-HT602合金薄膜のドライエッチング特性を、誘導結合プラズマ(ICP)エッチング装置を用いて評価した。ドライエッチングは、プラズマ発生周波数(13.56MHz)、基板バイアス周波数(400kHz)で、Arおよび Cl_2 の混合ガス雰囲気下で実施した。図8にドライエッチング後のSA-HT602合金薄膜のSEM像を示す。Al合金薄膜がエッチングされたガラス基板表面に、エッチング残渣(ざんさ)が存在しないことが確認された。エッチングレートは純Alと比較して80%と、LTPS-TFTの量産性に適応

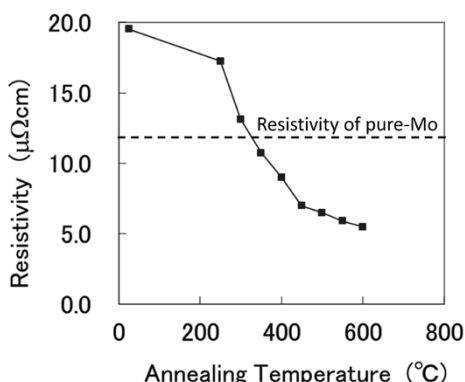
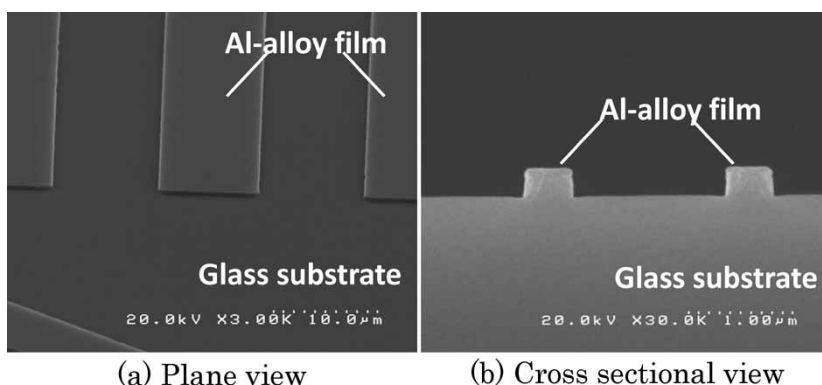


図7 Al-0.5at%Ge-0.2at%Nd系合金膜の電気抵抗率の熱処理温度依存性

Fig. 7 Dependence of resistivity on annealing temperature of Al-0.5at%Ge-0.2at%Nd based alloy film



(a) Plane view

(b) Cross sectional view

図8 Al-0.5at%Ge-0.2at%Nd系合金膜のドライエッチング後SEM像

Fig. 8 SEM image of Al-0.5at%Ge-0.2at%Nd based alloy film after dry etching

するエッチングレートが得られた。ドライエッチングでは異方性エッチングが可能であり、微細なレジストパターンさえ形成できれば、図8(b)のように0.5 μ mの微細加工も可能となる。したがって、次世代の高精細ディスプレイにも対応可能な微細加工性を有していると考えられる。

2.3 スパッタリング成膜速度

DCマグネトロンスパッタリングによる成膜速度を、純AlおよびMoと比較評価した。ターゲットサイズ：直径4インチ、カソードサイズ：直径4インチ、DCパワー：260W、Arガス圧：2 mTorrにて成膜した際のSA-HT602の成膜レートは220nm/minであった。同条件で成膜した純Alは148nm/min、Moは147nm/minであることから、SA-HT602の方が約1.5倍速いことがわかった。これは、耐熱性向上のためにAlに添加した元素の効果である。したがって、SA-HT602は成膜時間短縮により生産性の向上にも貢献できるものと考えられる。

むすび = LTPS-TFTのゲート配線へのAl合金薄膜の適応を目的とし、Alの粒成長抑制のために粒界への析出物微細分散をコンセプトに合金設計を行った。その結果、これまでAl合金で不可能であった600 $^{\circ}$ Cまでの高耐熱性と5.3 μ Ω cmの低抵抗、およびドライエッチング加工性の全てを満たすAl-Ge-Nd系合金を開発した。

スマートフォンなどに用いられるLCDsディスプレイ

の高精細化や大型化が進めば、ゲート配線の配線抵抗が問題になると推測され、その場合、本製品の優位性がより顕著に発揮される。本稿のAl-0.5at%Ge-0.2at%Nd系合金は、スパッタリングターゲット製品名SA-HT602として、(株)神戸製鋼所のグループ会社である(株)コベルコ科研よりLTPSパネルメーカーに出荷されている。LTPS-TFTを用いたディスプレイの今後のさらなる発展に寄与するものと考ええる。また、本Al合金材料はその特性を生かして、従来MoやTiなどの高融点金属薄膜が用いられてきた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。

参考文献

- 1) 木村裕之ほか. 月刊ディスプレイ. 2013, Vol.19, No.1, p.42-47.
- 2) 浦岡行治. 三井造船技報. 2006, No.189, p.1-5.
- 3) 今井信雄. 精密工学会誌. 2003, Vol.69, No.7, p.897-899
- 4) Y. Mishima et al. J. Appl. Phys. 1994, 75, p.4933.
- 5) M. Yazaki et al. Jpn. J. Appl. Phys. 1992, 31, p.206.
- 6) C. F. Yeh et al. Jpn. J. Appl. Phys. 1993, 32, p.4472.
- 7) M. S. Bowen et al. レーザー研究. 2006, Vol.34, No.10, p.689-692.
- 8) 西部 徹ほか. 東芝レビュー. 2000, Vol.55, No.2, p.32-34.
- 9) J. C. Liao et al. IEEE Electron Device Lett. 2008, 29, p.477.
- 10) C. S. Lin et al. IEEE Electron Device Lett. 2009, 30, p.1179.
- 11) 大西 隆ほか. R&D神戸製鋼技報. 1998, Vol.48, No.3, p.29-34.
- 12) 吉川一男. こべるにくす. 1998, Vol.7, No.14, p.9-10.
- 13) 神戸製鋼所. 山本正剛ほか. 半導体用電極及びその製造方法並びに半導体用電極膜形成用スパッタリングターゲット. 特開平7-45555. 1995-02-14.