

(解説)

液晶パネル配線膜におけるダイレクトコンタクト対応AI合金の開発

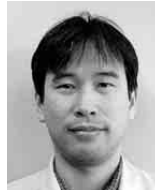
Development of Al-alloy to Realize Direct Contacts with ITO and a-Si for TFT-LCD Interconnection



釘宮敏洋*
Toshihiro KUGIMIYA



米田陽一郎*
Yoichiro YONEDA



後藤裕史**
Hiroshi GOTO



中井淳一*(Ph.D.)
Dr. Junichi NAKAI

The world's first Al-Ni alloy films have been developed which can be directly contacted (DC) electronically with both ITO and a-Si as interconnection lines. Such direct contacts were demonstrated to be feasible for TFT technology. The direct contact technology, using the new films and a new a-Si treatment process, enables single layer interconnections with gate and source/drain lines of TFT-LCDs. The new contact technology improves the productivity and reduces the manufacturing cost of TFT-LCDs. Commercial production of the films has already started.

まえがき = 近年、液晶ディスプレイ (Liquid Crystal Displays, 以下 LCDs という) はパソコンや携帯電話、大画面薄型テレビなどで幅広く使用されている。㈱コベルコ科研 (以下、当社という) では LCDs 配線膜用として、耐熱性に優れ、電気抵抗率の低い Al-Nd スパッタリングターゲット材を開発してきた¹⁾。Al-Nd はヒロック抑制効果に優れた Nd を添加することにより、400 においてもヒロックが発生しない。同時に Nd など希土類元素の添加は Al の電気抵抗に及ぼす影響が小さく、合金化による電気抵抗率の上昇を抑制するなどの効果がある²⁾。

さらに当社では、Al 合金の優れた特性を生かしつつ、パネル製造メーカの製造コストダウンが可能な Al 合金スパッタリングターゲット材の開発に取り組んできた。Thin Film Transistor (以下、TFT という) のゲート配線とソース・ドレイン配線をそれぞれ Al 合金にて単層化し、これまで使用されてきた Mo や Cr などのバリアメタルを一切使用しないダイレクトコンタクト対応 Al 合金がそれである。本稿では、今回開発したダイレクトコンタクト対応 Al 合金の諸特性について報告する。

1. ダイレクトコンタクト対応 Al 合金

1.1 ダイレクトコンタクト対応 Al 合金のメリット

従来の TFT では、ゲート配線に 2 層の積層配線、ソース/ドレイン配線に 3 層の積層配線が用いられてきた (図 1 (a) 参照^{3),4)}。当社が提案するダイレクトコンタクト対応 Al 合金 (以下、図中表記では DC とする) を使用した TFT の断面構造を図 1 (b) に示す。ダイレクトコンタクト対応 Al 合金ではそれぞれの配線を単層化でき、ゲート配線では ITO 透明電極とのダイレクトコン

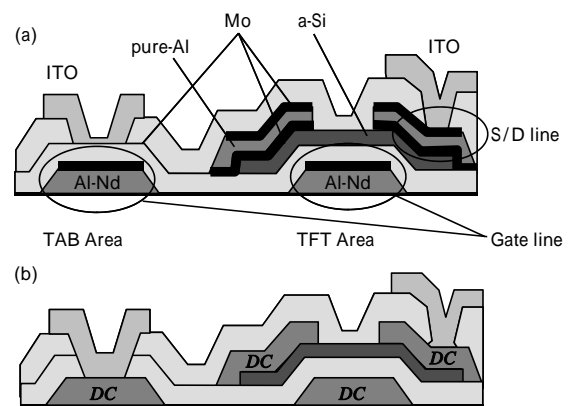


図 1 ダイレクトコンタクト対応 Al 合金を用いた TFT 断面構造, (a)従来積層配線構造, (b)ダイレクトコンタクト対応 Al 合金の単層配線構造

Fig. 1 Schematic configuration of cross-sectional TFT using (a) conventional stacked layer and (b) single layer (DC) to realize Direct Contacts with ITO and a-Si

タクト, ソース/ドレイン配線では ITO 画素電極, 下地 a-Si とのダイレクトコンタクトが可能である。

図 2 にダイレクトコンタクト対応 Al 合金のスパッタ成膜設備の概略を示す。これまで使われてきた積層配線構造の場合、例えば図 2 (a) に示す 3 層の積層配線ではひとつのクラスツールに 3 つの成膜チャンバが必要であるのに対し、ダイレクトコンタクト対応 Al 合金ではチャンバすべてを Al 合金用スパッタチャンバとすることが可能で (図 2 (b)), 同じフットプリントで大きな生産性向上が実現できる。Mo や Cr などのバリアメタルの削減 (ランニングコスト削減) のみならず、工程削減による生産性向上といった非常に大きなメリットが得られる。

1.2 ITO ダイレクトコンタクトにおけるメカニズム

一般に ITO とダイレクトコンタクトする際、すなわち

*コベルコ科研 ターゲット事業本部 技術部 **㈱神戸製鋼所 技術開発本部 電子技術研究所

純 Al もしくは Al 合金配線の上に ITO などの酸化物薄膜を直接スパッタ成膜すると、ITO/Al の界面が容易に酸化してしまう。これは ITO スパッタリングターゲット材のスパッタ成膜中にチャンバ内に導入される酸素⁵⁾ や水⁶⁾ から解離生成した酸素ラジカル、また同ターゲット材から発生する酸素によっても起こると考えられる。

図 3 に Al-2at%Nd 合金の表面に ITO を直接室温スパッタ成膜した直後の断面の Transmission Electron Microscope (TEM) 写真 (a), および同コンタクトの I-V 特性 (b) を示す。図 3 (a) では、ITO/Al-Nd 合金の界面にアルミ酸化膜 (AlO_x) が連続して生成していることがわかる。ITO 成膜までに Al 配線は 350 程度の熱履歴を一度受けており、Al-Nd 合金薄膜中には Al₄Nd が析

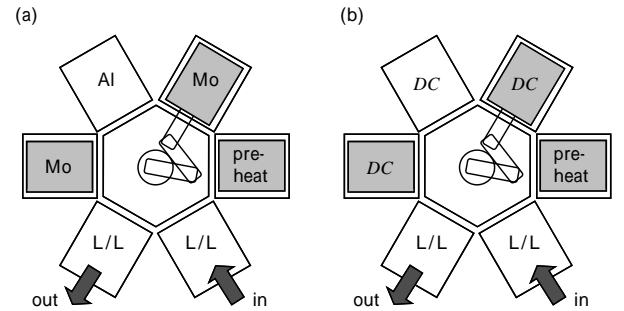


図 2 クラスタツールによる配線膜用スパッタ成膜装置の概略図, (a)従来の積層配線用スパッタ成膜装置, (b)ダイレクトコンタクト対応 Al 合金の単層配線用スパッタ成膜装置

Fig. 2 Cluster-tool sputtering equipment for (a) conventional stacked layer deposition and (b) single layer (DC) deposition

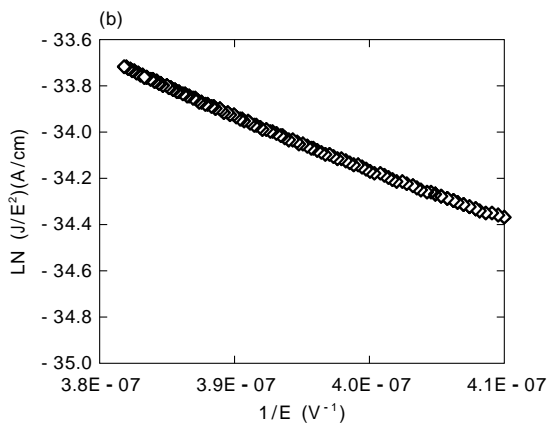
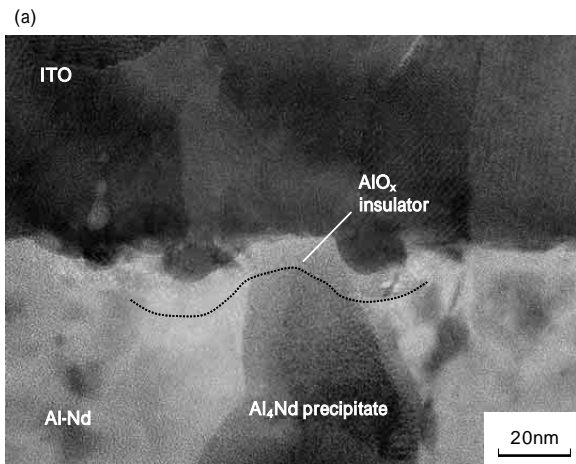


図 3 (a)ITO/Al-Nd 合金コンタクト界面における断面 TEM 写真, (b)ITO/Al-Nd 合金コンタクトにおける I-V 特性
Fig. 3 (a) Cross-sectional TEM image at interface between ITO/Al-Nd alloy, (b) I-V characteristics through ITO/Al-Nd alloy contact

出している¹⁾。図 3 (a) ではまた、Al₄Nd 表面も一様に酸化していることがわかる。一般に金属 (M) 絶縁体 (I) 金属 (M) (あるいは半導体 (S)) の MIM 構造 (あるいは MIS 構造) の I-V 特性は、中間の絶縁膜が nm オーダーの場合、直接トンネリングや F-N トンネリングといった導電モードが観察される。F-N トンネリングの場合の I-V 特性は、その絶縁膜にかかる電界を E、電流密度を J とすると式 1) で表せる。

$$J/E^2 \propto 1/E \dots \dots \dots (1)$$

図 3 (b) の I-V 特性は式 1) の関係に従うことから、ITO/Al-Nd 合金の界面に AlO_x が生成していることが電気的にも裏付けられる。このアルミ酸化膜が存在するために、図 3 (b) の I-V 特性から算出される ITO とのコンタクト抵抗は M と高く (図 7 参照)、ダイレクトコンタクトは難しいことがわかる。つまり ITO とダイレクトコンタクトを実現するには、この界面 AlO_x の形成を抑制する必要がある。

一方、当社が開発したダイレクトコンタクト対応 Al 合金 (Al-Ni 合金) では、Al-Ni 合金薄膜内に析出した Al₃Ni 表面が ITO 成膜では酸化されないことがわかった。図 4 (a) に ITO/Al-2at%Ni 合金界面の断面 TEM 写真を示す。図から明らかなように、Al₃Ni 析出物表面は AlO_x が形成されていないことがわかる。つまり、ITO/Al-Ni 合金界面において流れる電流はこの Al₃Ni を介して流れる

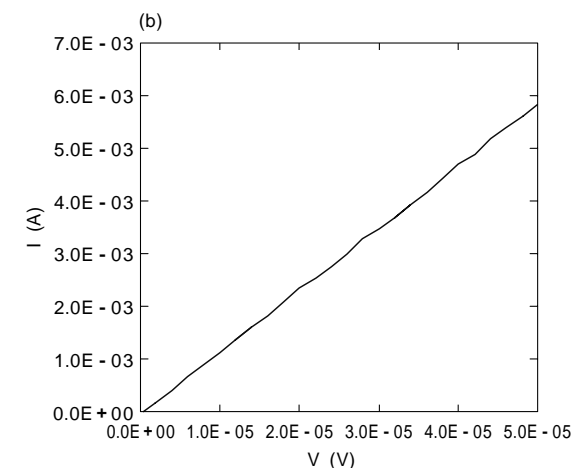
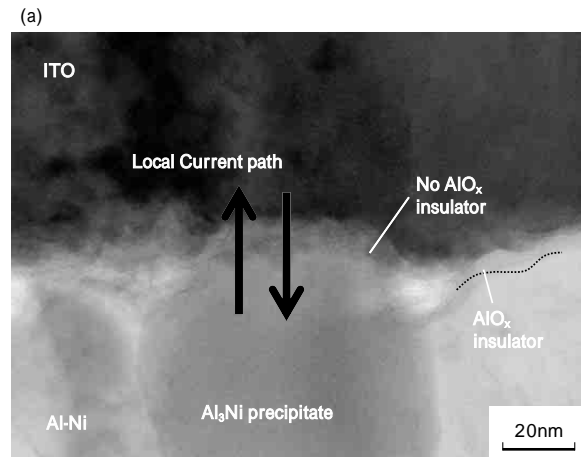


図 4 (a) ITO/Al-2at%Ni 合金コンタクト界面における断面 TEM 写真, (b) ITO/Al-2at%Ni 合金コンタクトにおける I-V 特性
Fig. 4 (a) Cross-sectional TEM image at interface between ITO/Al-2at%Ni alloy, (b) I-V characteristics through ITO/Al-2at%Ni alloy contact

局所的な導通であることを示唆している(このAl₃Ni析出物はITOとの接触ホール表面に数百のレベルで析出する)。ITO/Al-Ni合金接触のI-V特性を図4(b)に示す。ITO/Al-Nd合金接触ではF-Nトンネリングモードがみられたが、ITO/Al-Ni合金接触では直線性の高いオーミックモードが得られた。ここから算出される接触抵抗は100と非常に低く(図7参照), 実際のパネルに適用可能な値である。このことから, Al-Ni合金はITOとダイレクト接触が可能であるといえる。

1.3 a-Siとのダイレクト接触

ソース/ドレイン配線においては, ITO画素電極とのダイレクト接触のみならず下地a-Siとのダイレクト接触も必要となる。下地a-Siはトランジスタの導電層であるため, Al/a-Siの界面においては下地a-SiへのAlの拡散を抑制すること, さらにAl/a-Si界面の接触抵抗が低くかつオーミック特性を有することが重要である。当社では, a-Si内部にN₂プラズマ照射によって形成するSiN_xを埋込むプロセス(Buried Nitridation Layer, 以下BNLという)を提案している。

図5(a)にBNLプロセスにて形成したAl-Ni合金/a-Si界面の断面TEM写真を示す。BNLの埋込み深さは10nmとしている。ソース/ドレイン配線の上にはSiNパッシベーションが形成され, この熱履歴によってBNL

上のa-SiとAl-Ni合金が相互拡散する(Inter-Diffusion Layer (IDL)の形成)。これによって, ソース/ドレイン配線と下地a-Siの接触抵抗は通常使用されるMoバリアメタルと同じ値まで下がることがわかっている。またBNLが拡散バリアとなるため, BNL下部への拡散は完全に抑制される。図5(b)にAl-Ni合金と下地a-Si間のI-V特性を示す。図から明らかなように良好なオーミック特性が得られる。

ソース/ドレインの単層配線に必要な二つのダイレクト接触, つまり画素ITOとのダイレクト接触はAl-Ni合金で適用し, 下地a-Siとのダイレクト接触にはBNLプロセスを適用することで実現できる。

2. ダイレクト接触対応Al合金の諸特性

2.1 電気抵抗率~アプリケーションとの対応

当社は, Al-Ni合金をベースにダイレクト対応Al合金として, ユーザ評価中のものを含めて3製品(表中DC1, DC2, Advanced-DC)のスパッタリングターゲット材をラインナップしている。表1に当社ダイレクト接触対応Al合金のスパッタリングターゲットと電気抵抗率およびアプリケーション対応を, 表2に3製品の諸特性を示す。ユーザが生産する液晶製品, すなわち携帯電

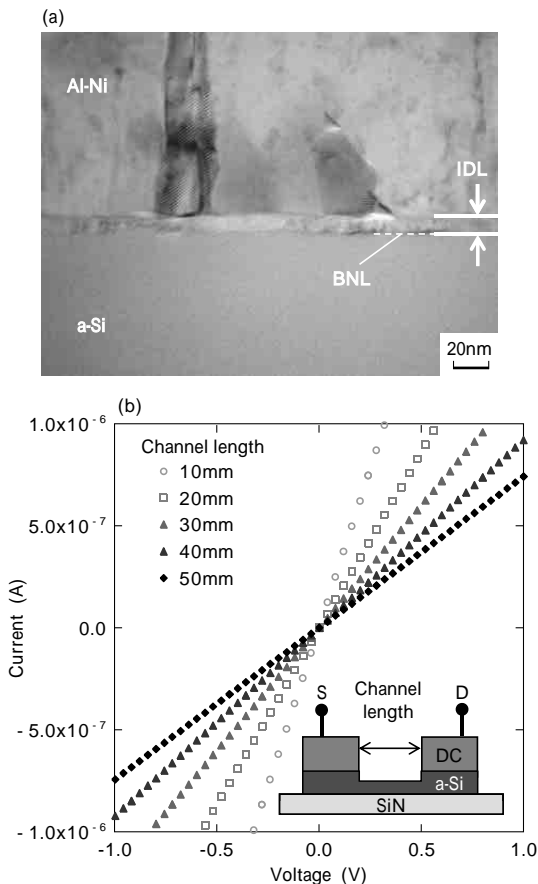


図5 (a)BNLプロセスを使ったAl-2at%Ni合金/a-Si接触界面における断面TEM写真, (b)Al-2at%Ni合金/a-Si接触におけるI-V特性

Fig. 5 (a) Cross-sectional TEM image at interface between Al-2at% Ni alloy and a-Si using BNL process, (b) I-V characteristics through Al-2at%Ni alloy/a-Si contact

表1 ダイレクト接触対応Al合金のスパッタリングターゲットのラインナップ

Table 1 Sputtering target lineup for Al-alloys				
Panel size	Small (2-10inch)	Middle (11-21inch)	Large (32inch-)	Larger (50inch-)
Gen.	-G5	-G5	G6-G8	G8-
LCD	Mobile, Car-navi.	PC note, PC monitor	TV	TV
Resistivity	Gate : <5μ cm S/D : <10μ cm	Normal) Gate : <5μ cm S/D : <10μ cm High-end) Gate : <3.5μ cm S/D : <4.5μ cm	Gate : <3.5μ cm S/D : <3.8μ cm	<2.0 - 2.5 <2.0 - 2.5
Target-line up	Gate: DC1 (4.0μ cm) S/D: DC1/a-Si treatment (4.9μ cm) Gate: DC2 (3.5μ cm) S/D: DC2/a-Si treatment (4.6μ cm) Gate: Advanced-DC (3.5μ cm) S/D: Advanced-DC/a-Si treatment (3.7μ cm)			Gate: Cu-alloy (2.5μ cm) S/D: Cu-alloy (2.5μ cm)

表2 ダイレクト接触対応Al合金の諸特性

Table 2 Characteristics of Al-alloys				
	PC monitor, mobile		PC monitor, mobile	Larger TV
	DC1		DC2	Advanced-DC
Resistivity	G	4.0μ ·cm at 350C	3.7μ ·cm	3.5μ ·cm
	S/D	4.9μ ·cm at 250C	4.6μ ·cm	3.7μ ·cm
TCO contact resistivity	G	100 (Mo < Rc < Cr)	100 (Mo < Rc < Cr)	70 (Mo < Rc < Cr)
	S/D	100 (Mo < Rc < Cr)	100 (Mo < Rc < Cr)	70 (Mo < Rc < Cr)
a-Si contact	OK (with BNL)		OK (with BNL)	OK (with BNL)
Hillock formation	none		none	none
TMAH corrosion resistance (etch rate/reflectivity reduction)	50nm/min 7.5% (550nm)/min		30nm/min 1.5% (550nm)/min	20nm/min 0.3% (550nm)/min

話や PC モニタ、テレビなどによって電気抵抗率の要求が異なることからそれぞれ対応させている。

主に PC モニタや携帯電話向けに開発したのが DC1 と DC2 であり、ゲート配線では DC1, DC2 とともにユーザにて量産採用されている。DC2 では DC1 で課題となっていたアルカリ耐性を向上させている。DC2 の電気抵抗率はゲート配線で $3.5\mu\text{ cm}$ 、ソース/ドレイン配線で $4.6\mu\text{ cm}$ が得られる。ソース/ドレイン配線においても $<5\mu\text{ cm}$ の低抵抗が得られるため、ゲート配線とソース/ドレイン配線の配線組成 (= スパッタリングターゲット組成) の共有化が可能となる。

Advanced-DC は大型テレビやハイエンド PC モニタに対応したダイレクトコンタクト対応低抵抗 AI 合金であり、ゲート配線にて $3.5\mu\text{ cm}$ 、ソース/ドレイン配線で $3.7\mu\text{ cm}$ が得られる。純 AI とバリアメタルを組合せた積層配線でのシート抵抗を 1 としたときのシート抵抗比較を図 6 に示す。図 6(a) のゲート配線では単層配線を使用する Advanced-DC のシート抵抗比は純 AI の積層配線と同等、(b) のソース/ドレイン配線では単層配線のシート抵抗比が 12% 低い結果となり、大型パネルにおいても Advanced-DC は十分使用できると考えられる。

2.2 ITO とのコンタクト抵抗

図 7 に示しているように、DC1, DC2, Advanced-DC いずれも ITO コンタクト抵抗は径 $10\mu\text{ m}$ コンタクト換

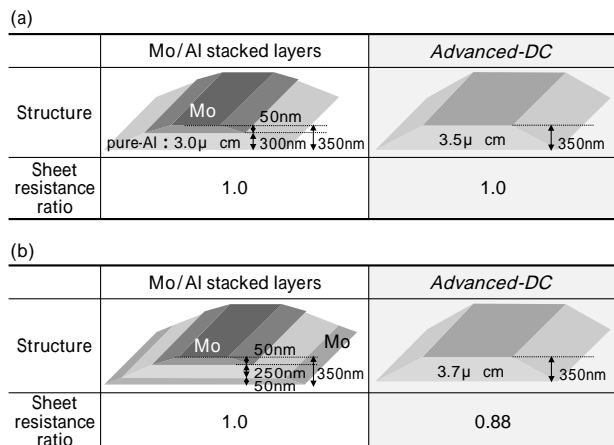


図 6 ダイレクトコンタクト対応 AI 合金の単層配線と純 AI の積層配線におけるシート抵抗比較

Fig. 6 Comparison of sheet resistance for single layer Al-alloy and stacked layer pure-AI

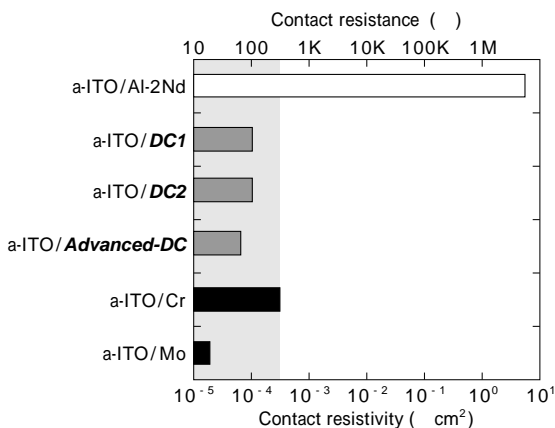


図 7 各種材料における ITO とのコンタクト抵抗の比較

Fig. 7 Comparison of contact resistance for various metals with ITO

算にて <100 の低抵抗が得られており、通常使用される Mo や Cr バリアメタルと同程度の値が得られる。図 8 に ITO/DC2 コンタクトにおける信頼性試験の結果を示す。湿度 90%、温度 60 の環境下において、コンタクトへの電流負荷を通常の 100 倍程度の $100\mu\text{ A}$ 一定にてコンタクト抵抗の変動を加速試験したものである。450 時間経過後においてもコンタクト抵抗の変動は 2 倍以下に抑制できており、通常の Mo や Cr バリアメタルなみの高い信頼性が得られている。

2.3 アルカリ耐性

図 9 に AI 配線上のレジスト現像に使用されるアルカリ現像液 Tetra Methyl Ammonium Hydride (以下、TMAH という) 2.38wt% にダイレクトコンタクト対応 AI 合金を浸せさせたときのエッチング速度を示す。元来 AI はアルカリに溶解する。DC1 では純 AI と比較して 3 倍近いエッチング速度を示したが、DC2 で純 AI の 2 倍まで改善、さらに Advanced-DC では純 AI と同等まで抑制することに成功した。また、TMAH に 1 分間浸せき後の反射率減少も DC2 で 1.5%、Advanced-DC で 0.3% まで抑制している。

2.4 ドライエッチ特性

ゲート配線やソース/ドレイン配線の純 AI や AI 合金の加工においては混酸系エッチャントにてエッチングするのが一般的である。一方、Advanced-DC は混酸系によるウェットエッチングだけでなく、ドライエッチングも可能である。一般に、AI 合金のドライエッチング速度は添加元素の影響により純 AI よりも遅くなる⁷⁾。しかしな

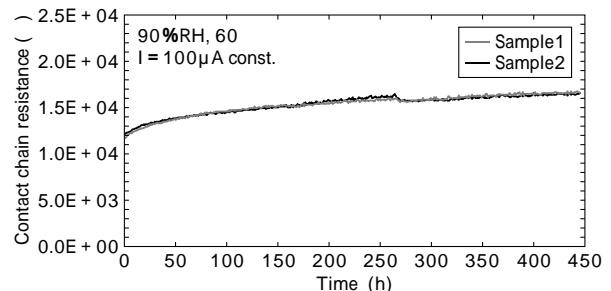


図 8 ITO/DC2 コンタクトにおける信頼性試験の結果

Fig. 8 Reliability test of ITO/DC2 contact

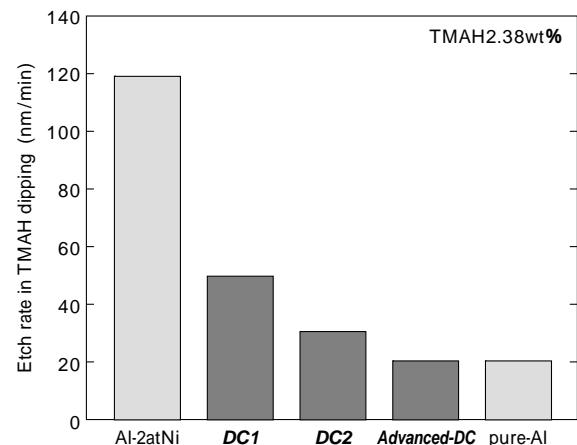


図 9 ダイレクトコンタクト対応 AI 合金における TMAH 浸せきでのエッチング速度

Fig. 9 Etching rate of Al-alloy in TMAH dipping

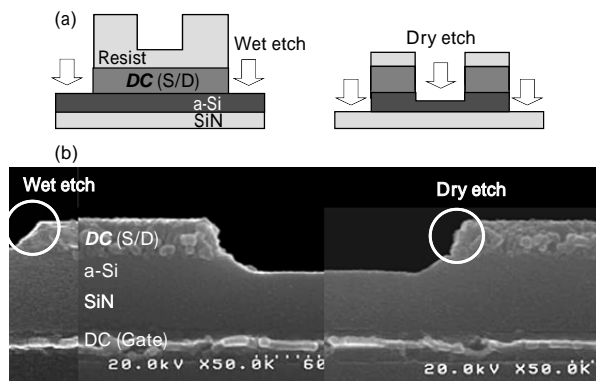


図10 1wet-1dry プロセスによるソース/ドレイン配線の加工
 (a) プロセスシーケンス, (b) 実際の加工例
 Fig.10 Fabrication of S/D interconnection using 1wet-1dry process,
 (a) process sequence and (b) cross sectional SEM image as
 actual example

がら, *Advanced-DC* は純 Al と比較して 92% のドライエッチング速度が得られ, 純 Al と同等のエッチング速度が得られることがわかった。この特性を生かし, 当社ではソース/ドレインの加工におけるプロセス簡略化を提案している。一般にソース/ドレインの純 Al 積層配線と下地 a-Si トランジスタを加工する場合, 2 回のウェットエッチングと 2 回のドライエッチングが必要である。しかしながら *Advanced-DC* のようなドライエッチング可能な単層配線の場合, 図10 (a) に示すように 1 回のウェットエッチングと 1 回のドライエッチングにて加工が可能となる。これによってソース/ドレインの配線加工プロセスが大幅に短縮でき, 生産性の向上によるコストダウンが実現できる。図 10 (b) に実際に加工した例を示す。

3. ダイレクトコンタクト対応 Al 合金の実用化

ダイレクトコンタクト対応 Al 合金によって, 世界で初めて TFT のゲート配線とソース/ドレイン配線の単層

化が可能となった。当社では, ダイレクトコンタクト対応 Al 合金のターゲット材の量産出荷を 2005 年下期から開始している。すでに日本, 台湾, 中国などの液晶パネルを製造する主要ユーザによって量産採用いただいている。また当社では, 第 8 世代や第 10 世代など大型ラインで使用されるターゲットサイズにも製造・出荷を対応している。

むすび = 当社が開発した Al-Nd 合金は, 400 までの耐熱性 (ヒロック耐性) を有することから多くのユーザに使用されてきた。今回開発したダイレクトコンタクト対応 Al 合金は, Al-Nd 合金とほぼ同等の耐熱性を確保しつつ, 新しい機能である ITO とのダイレクトコンタクト特性を, また BNL プロセスを組み合わせることで a-Si とのダイレクトコンタクト特性を満足した配線材料である。

本稿では省略したが, Organic Light-emitting Diode (OLED) に使用される反射電極においても ITO と Al-Ni 合金とのダイレクトコンタクト評価が始まっている。当社はダイレクトコンタクト対応 Al 合金の量産化を進めるとともに, スパッタリングターゲット材のニーズに応じた開発を進めることにより, LCDs 業界の発展に今後とも貢献していきたい。

参考文献

- 1) T. Onishi et al. : J. Vac. Sci. Technol. A, Vol.15 (1997) p.2339.
- 2) J. Deutz et al. : J. Phys. F: Metal Phys., Vol.11 (1981) p.1787.
- 3) H. Takatsuji et al. : Surface and coating Technol., Vol.125 (2000) p.167.
- 4) S. Choi et al. : SID Symp. Dig., Vol.36 (2005) p.332.
- 5) J. C. C. Fan et al. : Appl. Phys. Lett., Vol.31 (1977) p.773.
- 6) S. Ishibashi et al. : J. Vac. Sci. Technol. A, Vol.8 (1990) p.1399.
- 7) H. R. Han et al. : Surf. and Coat. Technol., Vol.133, (2000) p.606.