

(論文)

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-Ni Interconnections for TFT-LCDs Using Direct Contacts with ITO and a-Si



釘宮敏洋*
Toshihiro Kugimiya



米田陽一郎*
Yoichiro Yoneda



後藤裕史**
Hiroshi Gotoh



川上信之**
Nobuyuki Kawakami

It was demonstrated for the first time that the use of Al-Ni alloy films and a-Si surface nitridation for the direct contacts of interconnection lines with both ITO and a-Si were feasible for the TFT technology. It is considered that the direct contact technology using Al-Ni alloy film and a-Si nitridation process can achieve the single layer metal interconnections of gate and source/drain for TFT-LCDs, and have a significant impact on the production in view of productivity and cost.

まえがき = 近年、液晶ディスプレイ (Liquid Crystal Displays : LCDs) は PC モニタや携帯電話のみならず、大型テレビにいたるまで広く使われている。㈱コベルコ科研では LCD 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㈱コベルコ科研では、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となる Al 合金スパッタリングターゲット材料の開発に取り組んできた。Thin Film Transistor (TFT) 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、TFT 構造において、今回開発した Al 合金と Indium Tin Oxide (ITO) とのダイレクトコンタクト特性、および amorphous Silicon (a-Si) とのダイレクトコンタクト特性について報告する。

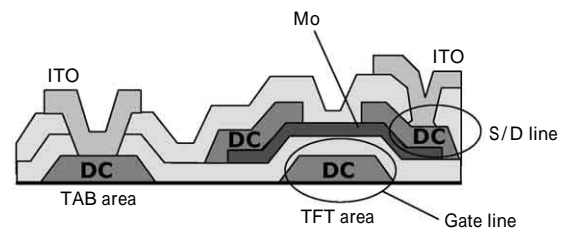
1. ダイレクトコンタクト対応 AI 合金

1.1 ダイレクトコンタクト対応 AI 合金のメリット

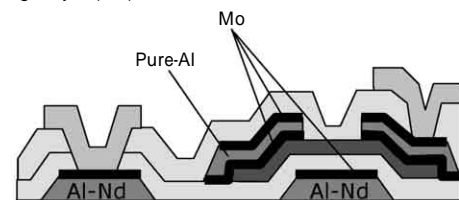
㈱コベルコ科研が提案するダイレクトコンタクト対応 AI 合金 (以下、図中表記では DC とする) を使用した TFT の断面構造を図 1 (a) に示す。従来の TFT では、ゲート配線に 2 層の積層配線、ソース・ドレイン配線に 3 層の積層配線が用いられてきた (図 1 (b) 参照)³⁾⁴⁾。ダイレクトコンタクト対応 AI 合金ではそれぞれの配線を単

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 AI 合金のスパッタ

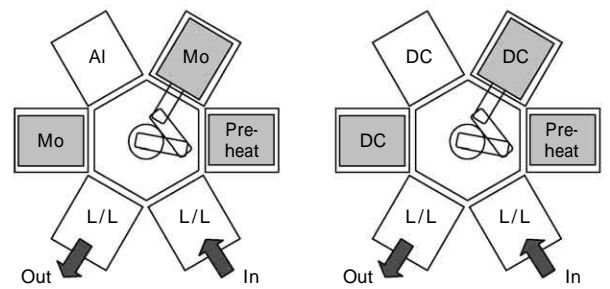


(a) Single layer (DC) which enables direct contact with ITO and a-Si



(b) Conventional stacked layer

図 1 ダイレクトコンタクト対応 AI 合金を用いた TFT 断面構造
Fig. 1 Schematic configuration of cross-sectional TFT



(a) Conventional stacked layer deposition

(b) Single layer (DC) deposition

図 2 クラスタツールによる配線膜用スパッタ装置の概略図
Fig. 2 Cluster-tool sputtering equipment

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

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タツールに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などのバリア金属の削減(ランニングコスト削減)と工程削減(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 ダイレクトコンタクト対応Al合金における技術課題

1.2.1 ITOとのダイレクトコンタクト

一般にITOとダイレクトコンタクトする際、すなわちAl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中にチャンバ内に添加される酸素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料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)と同界面のI-V特性(b)を示す。図3(a)からわかるように、ITO/Al-Ndの界面にアルミ酸化膜(AI₂O₃)が生成されていることがわかる。ちなみに、Energy Dispersive X-ray Analysis(EDX)によってO/Al比、すなわちxを測定した結果、約1.3(Al₂O₃ではxは1.5)ではほぼアルミナの化学量論比に近い。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、F-Nトンネリングであることがわかる。つまり、ITOと直接コンタクトさせるには、この界面酸化膜AlO_xを制御し、何らかの方法で導通させる必要がある。

1.2.2 a-Siとのダイレクトコンタクト

Large Scale Integrated (LSI)では、古くからAlと結晶Siの相互拡散の問題⁷⁾を解決する方法として、Al配線

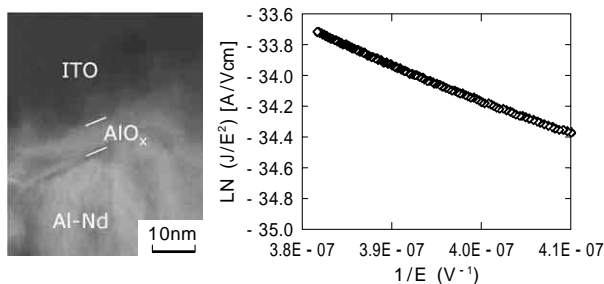


図3 ITO/Al-Ndコンタクト分析
Fig. 3 ITO/Al-Nd contact analyses

へのSi添加⁸⁾やTi/TiNなどのバリア金属の挿入⁹⁾などが実施されてきた。ただし、TFTの場合はAlとa-Siがダイレクトコンタクトするため、a-Si構造特有のダングリングボンドやH終端¹⁰⁾などがあり、a-Si中へのAlの拡散モードを知る必要がある。Si添加によって拡散抑制ができない場合には新しいアイデアが必要となる。

2. 実験・評価方法

2.1 ITOとのダイレクトコンタクト特性の評価方法

図4に、ITOとのコンタクト特性を評価するために用いたケルビンパターン¹¹⁾の断面構造(a)と平面構造(b)、および作製プロセスフロー(c)を示す。ケルビンパターンではI-V特性を評価することで、上層/下層の界面のコンタクト抵抗が測定できる。コンタクトの面積は10μm角とした。またコンタクト抵抗の測定にあたっては、信頼性を確保するため実際のTFT製造プロセスを模擬した(図4(c))。使用したガラス基板はコーニング社製の1737、サイズは4インチとした。

2.2 a-Siとのダイレクトコンタクト特性の評価方法

図5に、下地a-Siとのコンタクト特性を評価するために用いた金属(M)半導体(S)(M-S)ダイオードの断面構造(a)と作製プロセスフロー(b)を示す。金属側から電子を注入するのはソース電極、a-Si側から電子を

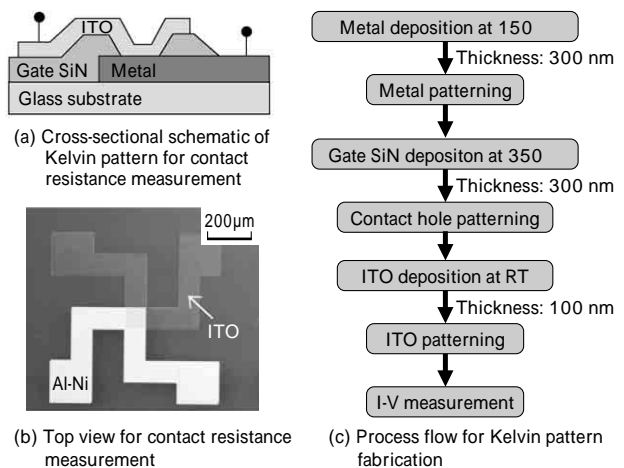


図4 ケルビンパターンによるコンタクト抵抗の評価
Fig. 4 Evaluation of contact resistance measurement using Kelvin pattern device

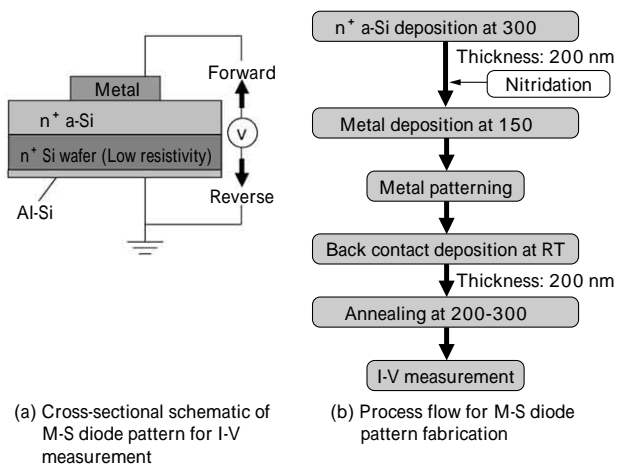


図5 M-SダイオードによるI-V特性の評価
Fig. 5 Evaluation of I-V characteristics using M-S diode device

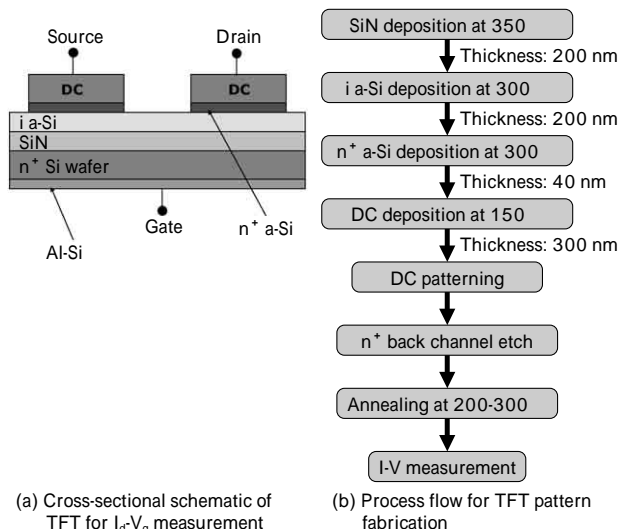


図 6 TFT による I_d-V_g 特性の評価

Fig. 6 Evaluation of I_d-V_g characteristics using TFT device

注入するのはドレイン電極をそれぞれ模擬したことになる。つまり、I-V 特性を図 5 中で示すように順方向、逆方向でそれぞれ評価することにより、コンタクト特性に問題があるかどうかを予測される。

また最終的に簡易型の TFT を試作し、a-Si とのコンタクト特性が TFT のドレイン電流 (I_d)-ゲート電圧 (V_g) 特性として問題がないかを評価した。今回用いた簡易型 TFT の断面構造とその作製プロセスフローを図 6 に示す。a-Si から上の構造は一般の TFT 構造とまったく同じであり、チャンネル部の n^+ a-Si のエッチングはドライエッチを行う Back Channel Etch (BCE) 法を用いている。使用したガラス基板はコーニング社製の 1737、サイズは 4 インチとした。

3. 実験結果および考察

3.1 ITO とのコンタクト特性

各組成の Al 合金と ITO とのコンタクト抵抗を図 7 に示す。参照値として、これまで ITO コンタクトに使用されてきたバリアメタルの Mo と Cr の結果を載せている。前述したように Al-2at%Nd の場合、コンタクト抵抗が 1M 以上と非常に大きいのにに対し、Al に Ni を添加した Al-Ni 系合金では、ITO とのコンタクト抵抗がバリアメタ

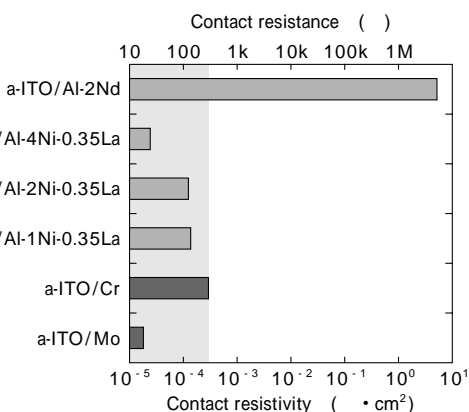
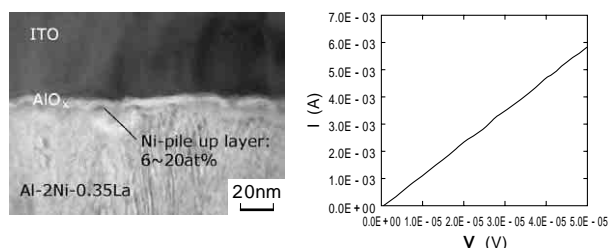


図 7 各種材料における ITO とのコンタクト抵抗の比較

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

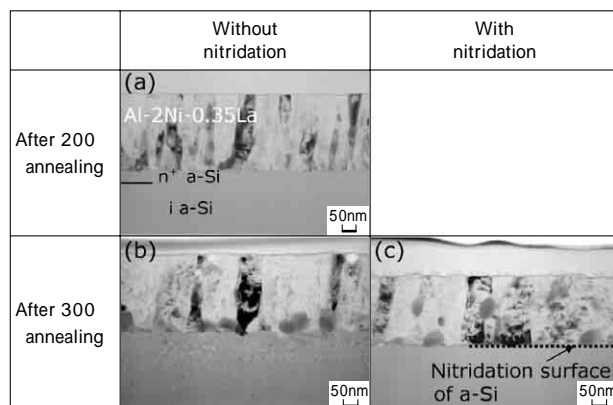


(a) Cross-sectional TEM image at the interface between ITO/Al-2at%Ni-0.35at%La

(b) I-V characteristics of ITO/Al-2at%Ni-0.35at%La contact

図 8 ITO/Al-2at%Ni-0.35at%La の評価結果

Fig. 8 Results of ITO/Al-2at%Ni-0.35at%La interface characteristics



(a) Al-2at%Ni-0.35at%La after 200 annealing

(b) Al-2at%Ni-0.35at%La after 300 annealing

(c) Al-2at%Ni-0.35at%La after 300 annealing with nitridation of a-Si

図 9 Al-2at%Ni-0.35at%La/a-Si 界面における熱処理後の断面 TEM 写真

Fig. 9 Cross-sectional TEM images

ルの Mo や Cr なみに十分低いことがわかる。また Al への Ni 添加量を増加させることによって、ITO とのコンタクト抵抗が下がっていく傾向にあることがわかる。

図 8 (a) に、図 7 で表示した ITO/Al-2at%Ni-0.35at%La 界面の断面 TEM 写真を示す。界面には Al-2at%Nd の場合と同様に AlO_x が生成していることがわかる。ただしこの AlO_x を EDX にて分析した結果、 $x = 0.3-0.6$ と非常に小さな値であることがわかった。このときの I-V 特性を図 8 (b) に示す。直線性の高いオーミック特性であることがわかる。

このことから、 AlO_x の x の低下により Al リッチな導電性の高い AlO_x が実現でき、オーミック特性が得られたと考えられる。図 7 に示すように、ITO とのコンタクト抵抗の Ni 添加量依存性があることから、Al の粒界に析出した Ni や Al の母相にわずかに固溶した Ni、さらに AlO_x に固溶できない Ni が AlO_x と Al の界面に自己整合的に濃化することによって、この AlO_x の x を制御していると考えられるが、まだ詳細はわかっていない。

最終的に、350 までの耐熱性確保のために希土類元素 La の添加、熱処理後の低電気抵抗率を確保するため Ni と La の添加量の最小化を選択し、それぞれの特性のバランスを考慮して、ゲート配線の組成を Al-2at%Ni-0.35at%La とした。

3.2 a-Si とのコンタクト特性

図 9 に、Al-2at%Ni-0.35at%La を a-Si 上にスパッタ成膜

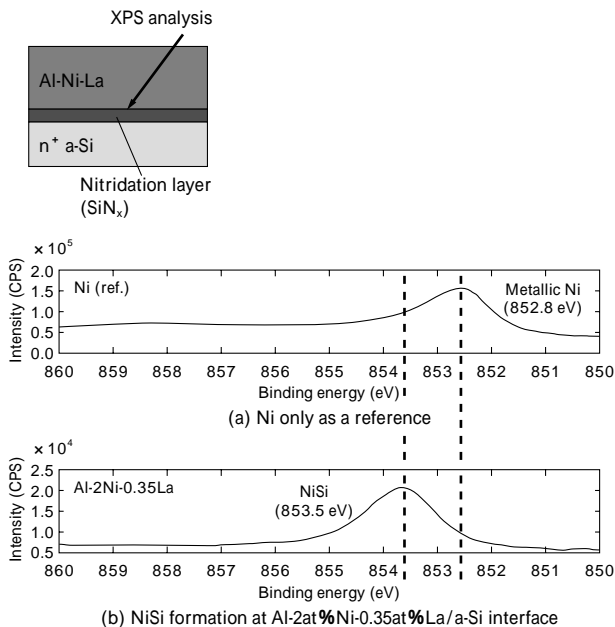


図10 Al-2at%Ni-0.35at%La/a-Si 界面における XPS 分析
 Fig.10 XPS analyses at Al-2at%Ni-0.35at%La/a-Si interface

させ、 N_2 雰囲気中で (a) 200、(b) 300 の熱処理を行ったサンプルの断面 TEM 写真を示す。Al-Ni-La 合金の場合、200 の熱処理では Al/Si の相互拡散が発生していない。ただし、300 では Al/Si の相互拡散が発生する。200 にて相互拡散が発生しなかったサンプルにおける Al-Ni-La/a-Si 界面を X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) 分析した結果を図 10 に示す。図 10 から明らかなように、界面に NiSi の反応層が形成されていることがわかった。Al-Ni-La から界面に拡散した Ni と a-Si の Si とが反応層を形成し、これが Al/Si の相互拡散を抑制したと考えられる。

一方で、相互拡散抑制の熱マージンが 300 (通常の TFT の最終熱処理温度に相当) までないことから、a-Si の表面を窒化する追加プロセスを提案した。これは a-Si 成膜直後に a-Si の表面に対し、100% N_2 プラズマを 10 秒程度照射するもので、表面をわずかに SiN_x 化させる。この処理と Al-Ni-La の成膜を組み合わせ、300 まで熱処理したときの結果を図 9(c) に示す。300 の熱処理においても拡散を抑制できることがわかる。NiSi の反応層と SiN_x の窒化層の 2 つの拡散バリア効果によって、拡散が抑制されたと考えられる。さらに、これら拡散バリア層が電気的特性を劣化させないかどうかを M-S ダイオードによる I-V 測定によって評価した結果を図 11 に示す。従来の (a) バリアメタル Mo と比較しても、(b) Al-2at%Ni-0.35at%La の場合、Mo と同等の I-V 特性が得られていることがわかる。

最後に、ソース/ドレイン配線に Al-2at%Ni-0.35at%La を使用し、 n^+ a-Si の表面に窒化を行った TFT の I_d - V_g 特性を図 12 に示す。ソース/ドレイン配線を形成後、 N_2 雰囲気中で最大 300、30 分まで熱処理を行った。300 熱処理後の結果をみても I_d - V_g 特性の劣化はみられない。ソース/ドレイン配線のバリアメタルに用いられる Cr や Mo における I_d - V_g 特性との比較を表 1 に示す。表 1 からわかるように、TFT の I_d - V_g 特性における劣化

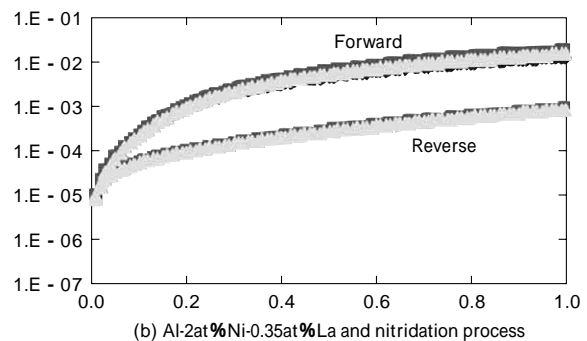
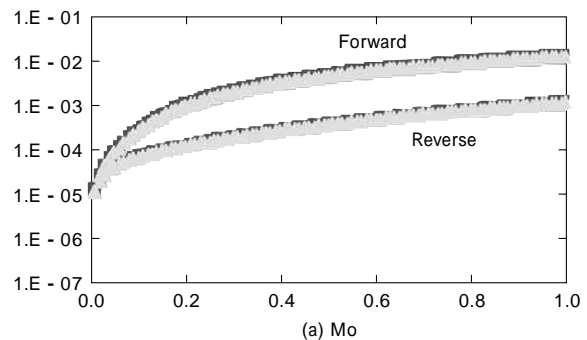


図11 M-S ダイオードにおける順方向・逆方向の I-V 特性
 Fig.11 Forward and reverse I-V characteristics of M-S diode

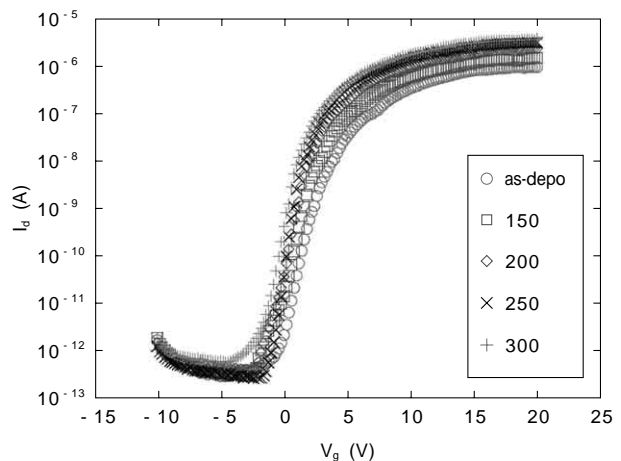


図12 Al-2at%Ni-0.35at%La と窒化プロセスを用いた TFT における I_d - V_g 特性
 Fig.12 TFT I_d - V_g characteristics after 150-300 annealing using Al-2at%Ni-0.35at%La and nitridation process

表 1 各種材料を S/D 配線に用いた場合の TFT 特性のまとめ
 Table 1 TFT characteristics using various metals of S/D lines

	Cr	Mo	Al-Ni-La with nitridation
I_{on} ratio of Cr	100%	140%	140%
I_{off}	~ pA	~ pA	~ pA
V_{th}	2.0 V	1.8 V	2.0 V
G_m ratio of Cr	100%	140%	140%

特性はいずれもみられていないことがわかる。

㈱コベルコ科研では、Al-Ni-La ターゲット材のサンプル出荷を 2005 年下期から開始しており、第 8 世代と呼ばれるターゲットサイズまでの製造・出荷が可能となっている。Al-Ni-La ターゲット材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。

むすび=㈱コベルコ科研が開発した Al-Nd は、400 までの耐熱性（ヒロック耐性）を有することから、業界標準材として使用されてきた。今回開発した Al-Ni-La は、Al-Nd 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、また a-Si の窒化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、携帯電話パネルに使用される反射電極においても ITO とのダイレクトコンタクトが可能である。Al-Ni-La のスパッタリングターゲット材を用いることにより、ITO とのダイレクトコンタクトを有するゲート配線、反射電極を採用した LCD パネルの量産化がすでに始まっている。ソース/ドレイン配線においてもパネル製造メーカーによる評価が行われている。㈱コベ

ルコ科研は、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、LCD 業界の発展に今後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) M. A. Nicolet et al. : Thin Solid Films, Vol.52 (1978) p.415.
- 8) G. Majni et al. : Appl. Phys. Lett., Vol.31 (1977) p.125.
- 9) G. Ottaviani : Thin Solid Films, Vol.140 (1986) p.3.
- 10) F. Yonezawa et al. : "Fundamental Physics of Amorphous Silicon, Part B" edited by F. Yonezawa, Springer-Verlag (1981) p.119.