

(解説)

液晶パネル用アルミニウム合金ターゲット材料

Aluminum Alloy Sputtering Target for TFT-LCDs



吉川一男*
Kazuo Yoshikawa



大西 隆**(工博)
Dr. Takashi Onishi

Sputtering is widely employed in the production of electronic components such as liquid crystal displays (LCDs), magnetic disks, optical disks, and semiconductors. KOBELCO RESEARCH INSTITUTE began its sputtering target business in 1993 in cooperation with the Technical Development Group of Kobe Steel. An Al-Nd sputtering target produced by the spray forming method is widely employed by LCD manufacturers worldwide because of its high performance for thin films and the fact that it is splash free.

まえばき = ターゲット材料とは、スパッタリング法にて薄膜を形成する際の原料となる材料である。㈱コベルコ科研では1993年よりターゲット材料事業を展開しているが、当初より神戸製鋼所技術開発本部と連携して事業に関わる商品開発を実施してきた。特に技術開発本部における独自薄膜材料の開発活動は、競合他社にはない格差的特徴であり、事業推進の大きな原動力となっている。

1. スパッタリング法とターゲット材料

スパッタリング法の原理を図1に示す。基板とターゲット材料間でプラズマ放電を形成し、イオン化したアルゴンがターゲット材料に衝突するエネルギーでターゲット材料を構成している原子をたたき出し、その原子を基板上に積もらせて薄膜とする手法である。

代表的なターゲット材料の外観と、その適用分野を図2に示す。ターゲット材料は板形状製品であり、これをユーザから支給される冷却板(バックングプレートと呼

ばれる)に全面ハンダ付け(ボンディングと呼ばれる)して出荷される。液晶パネル用ターゲット材料のサイズは大きさが500~1300mm角、厚さは6~16mmが一般的である。

スパッタリング法は図2に示すごとく、液晶パネルをはじめ、磁気ディスク、光ディスク、半導体など、エレクトロニクス産業の各分野で幅広く活用されており、我々の日々の活動を支える重要な技術の一つとなっている。

2. TFT 液晶パネルと配線膜

スパッタリング法の応用分野の中でも、液晶パネル分野は、OA機器あるいは家電製品を中心に今後とも市場

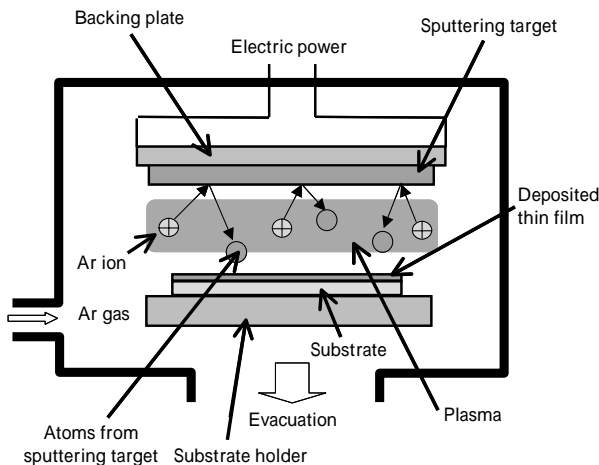


図1 スパッタリング法の原理
Fig. 1 Sputtering process

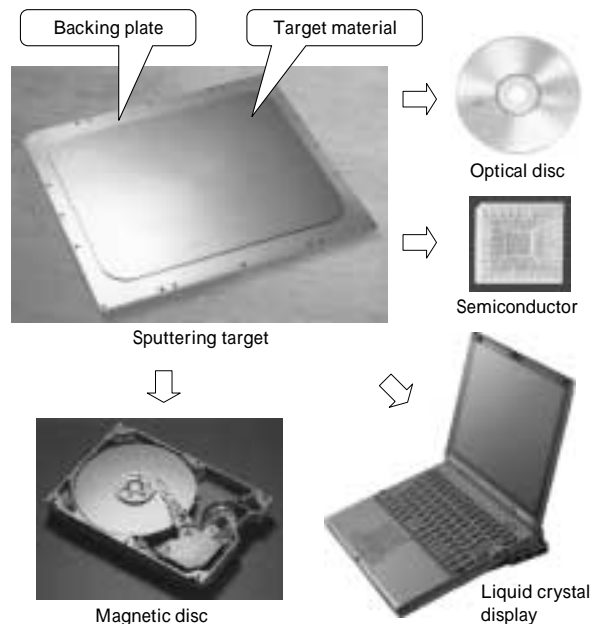


図2 ターゲット材料の外観とその適用分野
Fig. 2 Sputtering target and its application

*㈱コベルコ科研・ターゲット事業本部 **技術開発本部・材料研究所

の大きな拡大が期待されている。特に画素に薄膜トランジスタ(TFT)を組込んだ TFT-LCD は、その応答性と高精細性から液晶パネルの主流となっている¹⁾。画素に組込まれた TFT の一例を図 3 に示す。配線膜は TFT に制御信号を送る目的で形成され、その特性は TFT-LCD の性能を左右する重要な因子となっている。配線膜はガラス基板上にスパッタリング法で成膜された後、エッチングで幅 10 μm 厚さ 0.3 μm 程度のストライプ状にパターニングされ、液晶パネル外周部に実装される制御 IC と各画素の TFT とをつないでいる。

3. アルミニウム合金配線膜材料開発の経緯

1989 年ごろ、液晶パネルメーカーでは配線膜の低抵抗化が大きな技術課題となっていた。図 4 に配線膜の抵抗値と制御可能なパネルサイズとの関係を示す。当時は配線膜に純タンタルあるいは純クロムなどの高融点金属が採用されていたが、将来の液晶パネルの大型化を考えると、抵抗値の低いアルミニウム配線膜の採用が切望されていた。しかし純アルミニウムを配線膜として使用すると、図 5 (b) に示すごとく、液晶パネルの製造工程中の加熱工程で配線膜の表面にヒロックと呼ばれる微細な突起が形成され、配線膜の上にさらに膜が重ねられない大きな課題が発生することが確認されていた。

そこで、実用に耐え得る配線膜材料を開発し、その配線膜を形成するためのターゲット材料の事業に結びつけることを企画し、低抵抗配線膜材料の開発を開始した。開発目標はユーザの要望を集約し、抵抗値を 6 μ²・cm 以下、かつ 400 °C の加熱でヒロックを生じないことと設定した。

4. Al-Nd 配線膜材料

配線膜の開発に当たっては、まず最大の課題であったヒロックの形成メカニズムの解析を実施した。その結果、加熱工程においてガラス基板とアルミニウム配線膜との熱膨張係数差により、配線膜に圧縮応力が発生し、この圧縮応力がドライビングフォースとなって配線膜の結晶粒界に沿ったアルミニウム原子の拡散が生じ、ヒロックが形成されることが明らかとなった²⁾。このドライビングフォースとなる配線膜の応力制御、あるいはアルミニ

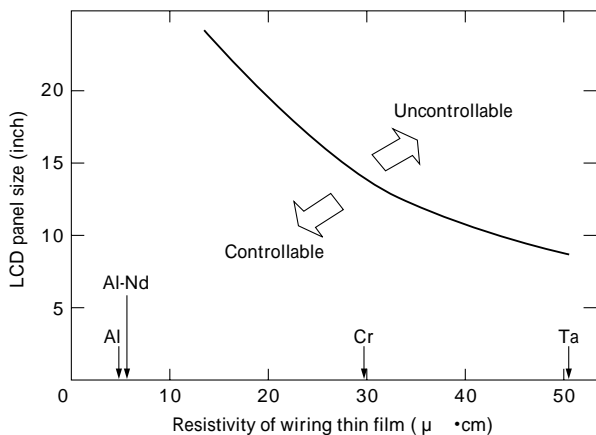


図 4 配線膜の比抵抗と制御可能な液晶パネル寸法
Fig. 4 Resistivity of wiring thin film and controllable panel size

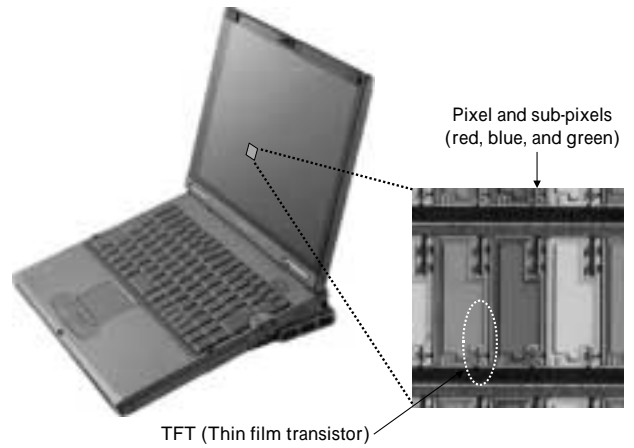


図 3 TFT の一例
Fig. 3 TFT and sub-pixel

ウム原子の粒界拡散は合金化により防止することが可能であったが、合金化により配線膜の抵抗値が上昇することが避けられず、このヒロックと抵抗値とのトレードオフの関係が配線膜開発の最大の課題であった。

そこで、加熱工程を抵抗値を下げるための工程として積極的に利用するとの考え方に立ち、合金設計を見なおし、最終的にアルミニウムにネオジウムを添加することにより、低抵抗とヒロック防止を兼備えた配線膜材料を得ることに成功した³⁾。

スパッタリング法で成膜された薄膜は、平衡状態では固溶し得ない合金元素を固溶させることが可能である。ネオジウムも平衡状態ではほとんど固溶限を持たないが、スパッタリング法で成膜された状態では Nd は完全にアルミニウムマトリックス中に固溶している⁴⁾。この固溶によりヒロックの発生が防止され、また加熱工程において、添加されたネオジウムが Al₃Nd 金属間化合物として析出することにより、抵抗値をほぼ純アルミニウム並に下げることが可能となった。図 5 (a) にネオジウム添加によるヒロック発生防止の状況を示す。また図 6 に加熱による抵抗値の低下状況を示す。

表 1 はネオジウムの添加量とヒロック発生限界温度との関係を示している。液晶パネルの製造工程では、配線膜の成膜後、350 °C 前後の加熱工程が必須であり、また図 6 に示すごとく、加熱後の配線膜の抵抗値はネオジウ

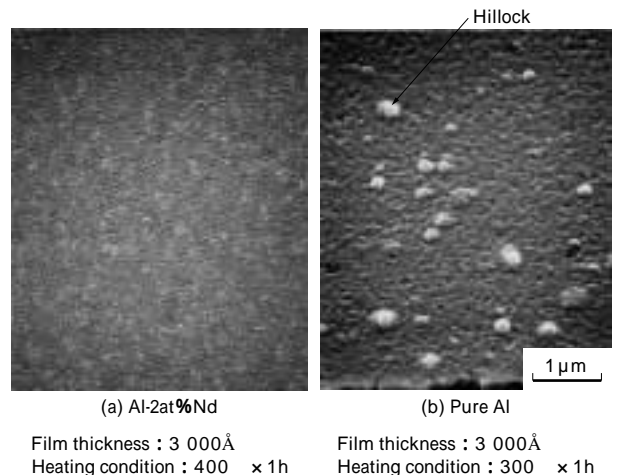


図 5 配線膜表面のヒロック
Fig. 5 Hillocks at thin film surface

表1 ネオジウム添加量とヒロック発生限界加熱温度の関係

Table 1 Relationship between Nd content and hillock free heating temperature

Heating condition	Observation of hillock			
	Al-0.7at%Nd	Al-1.0at%Nd	Al-1.3at%Nd	Al-2.0at%Nd
150 × 1.0h				
200 × 1.0h				
250 × 1.0h				
300 × 1.0h	×	×		
350 × 1.0h	×	×	×	
400 × 1.0h	×	×	×	

: Hillock free × : Hillock is observed

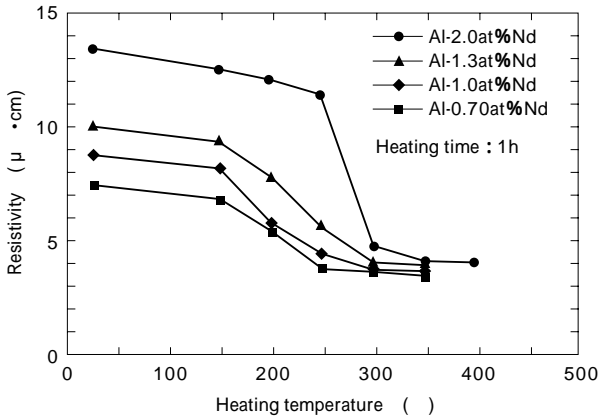


図6 加熱によるAl-Nd配線膜比抵抗の変化

Fig. 6 Decrement of resistivity of wiring thin film by heating

μの添加量によらずほぼ一定値となることから、Al-2at%Nd合金が最適組成として選定され、現在では配線膜の標準材料として数多くの液晶パネルメーカーで採用されるに至っている。

5. ターゲット材料に要求される特性

ターゲット材料に要求される特性としては、組成の均一性、組織の微細化、組織の均一性、及び純度などが挙げられる。特に液晶パネル用のターゲット材料では、組織の微細化及び均一性が特に重要である。これは大面積を効率良く成膜するために、液晶パネル用スパッタリング成膜装置のスパッタパワー密度が他の用途のスパッタパワー密度に比較して高く、組織の不均一部分から発生する微細な粒子が基板に付着する現象が顕著に見られることによる。この微細粒子は一般にスプラッシュと称され、組織の不連続部分、たとえば酸化物、結晶粒界、ポイドなどの近傍がスパッタリング成膜中に溶融し基板に付着するものと推定されている。組織の不連続により、冷却による放熱が局部的に阻害されることが原因と考えられ、実際にターゲット材料の結晶粒径とスプラッシュの発生頻度には高い相関関係が観察されている。代表的なスプラッシュの形状を図7に示す。きれいなドーム形状をしており、溶融した液滴が飛来し基板上で凝固したことを裏付けている。スプラッシュの大きさは、1μm～数十μmが一般的である。このスプラッシュの基板への付着は、液晶パネル製造の歩留まり低下に直接結びつくため、ターゲット材料の組織の微細化と均一性への要求は、ますます強くなってきている。

6. スプレイフォーミング法によるターゲット材料の製造

アルミニウム合金は、これまで配線膜形成用に使用さ



図7 基板上に観察されたスプラッシュの一例

Fig. 7 Splash detected on glass substrate

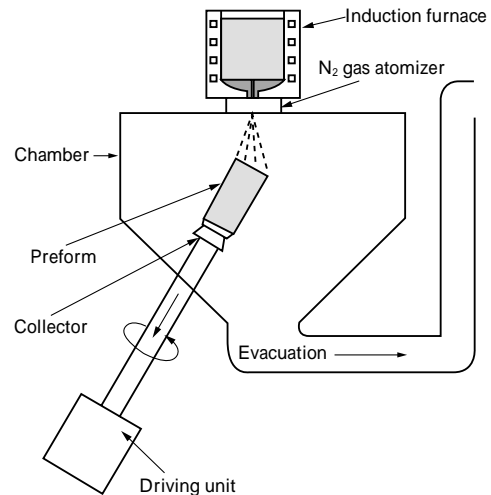


図8 スプレーフォーミング法の概要

Fig. 8 Schematic diagram of spray forming method

れていた純タンタルあるいは純クロムターゲット材料に比較して融点が低く、スプラッシュ現象が生じやすいことが懸念されていた。そこで、組織の微細化と均一性の大幅な改善を目的として、スプレイフォーミング法の採用を検討した。基本技術はイギリスのオスプレイ社より導入し、約3年の歳月をかけてアルミニウム合金の製造技術を確立した⁵⁾。

これまでアルミニウム合金ターゲット材料の製法としては、溶解鋳造法及び粉末冶金法が一般的に広く用いられてきた。スプレイフォーミング法の採用により、これらの従来製法に代わり、スプラッシュ発生が少ないターゲット材料の製造が可能となった。

スプレイフォーミング法の概要を図8に示す。原料を誘導溶解炉で溶解するところは、従来の溶解鋳造法と同様であるが、るつぼの下部に直径5mm程度の穴を設け、この穴から溶湯を流出させる構造となっている。流出した溶湯に窒素ガスを吹付け、溶湯を微細な液滴とし、こ

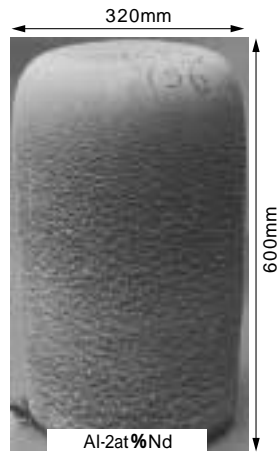


図9 Al-2at%Nd プリフォームの外観
Fig. 9 Preform of Al-2at%Nd alloy

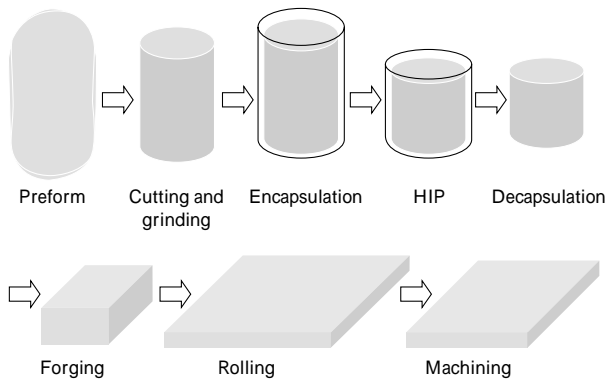
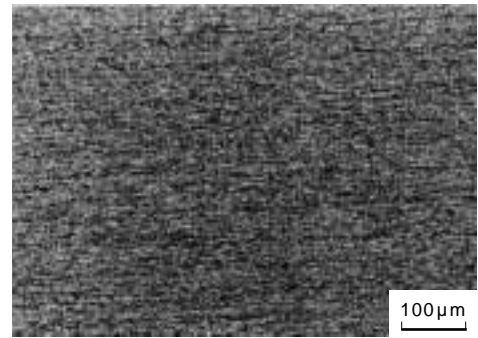


図10 Al-Nd ターゲット材料の製造工程
Fig.10 Production process of Al-Nd sputtering target

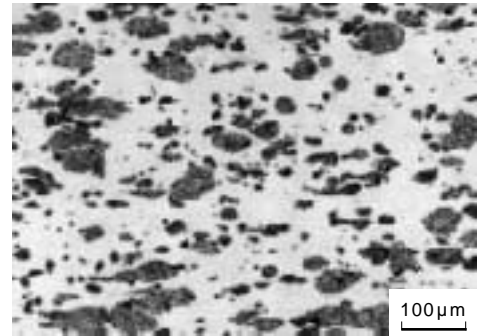
の液滴が凝固する前に、コレクタと称されるディスク上に降り積もらせて、インゴット（プリフォームと呼ばれる）を製造する製法である。Al-Nd 合金のプリフォームの一例を図9に示す。プリフォームは密度が100%とはならないため、HIPにより緻密化し密度100%としている。工程全体の模式図を図10に示す。HIP以降の工程は通常のアリウム板製品の製造工程と同様の内容である。

この製法の最大の特徴は、微細な液滴とするため冷却速度が速いこと、及び溶湯の均一性がそのままプリフォームの均一性に反映されることにある。Al-Nd 合金の場合、得られたプリフォームの平均結晶粒径は $2\mu\text{m}$ 前後、また含まれる Al_3Nd 金属間化合物の大きさも $1\mu\text{m}$ 前後となっている。図11に、各製法で製造されたターゲット材料のマイクロ組織の比較を示す。スプレイフォーミング法で製造されたターゲット材料の組織の微細化と均一性が際立っており、このことがスプラッシュの少ない、使いやすいターゲット材料に結びついている。

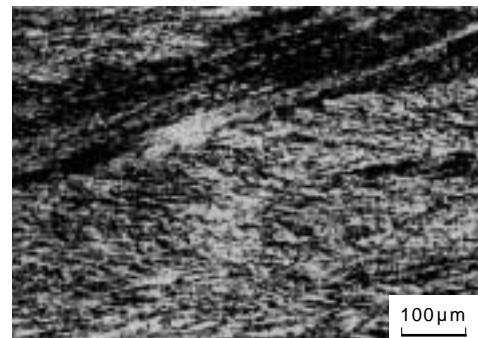
むすび=これまで液晶パネルで使用される薄膜材料は、液晶パネルメーカー自らが開発することが常であった。Al-Nd 配線膜及びターゲット材料は、材料メーカーからの提案材料としてユーザに受け入れられ、現在では液晶業界の標準材料としての地位を確立するに至っている。今後はさらなる液晶パネルの高性能化に対応すべく、ドライエッチングに適した配線膜材料、あるいはアルミ合金に比較



(a) Spray forming



(b) Powder metallurgy



(c) Melting and casting

図11 Al-2at%Nd ターゲット材料組織の各製法による比較
Fig.11 Microstructures of Al-2at%Nd sputtering targets by various production methods

して低抵抗が期待される銀合金配線膜材料の開発に注力する計画である。

またスプレイフォーミング法はその特長から、ターゲット材料以外への展開も期待されている。世界的にも実用化が始まった段階であり、適用分野の拡大は今後の開発成果によるところが大きい。特徴ある製品を創出する有力な手段として、その技術完成度を高めていきたい。

参考文献

- 1) たとえば、日経BP社刊：フラットパネル・ディスプレイ 2002.
- 2) T. Onishi et al. : Amerian Institute of Physics Conference Proceedings, No. 418 (1997), p.383.
- 3) 大西 隆ほか：神戸製鋼技報, Vol. 48, No. 3 (1998) p.29.
- 4) T. Onishi et al. : J. Vac. Sci. Technol. A15(4) Jul / Aug 1997.
- 5) K. Yoshikawa et al. : Powder Metallurgy, Vol.43, No.3 (2000) p.198.