技術論文	
樹軽金属学会 第42回 <b>小山田記念賞</b> 受賞	半導体製造装置・薄型ディスプレイ製造装置用 基板ホルダーの製造方法開発 Development of Production Method for Substrate Holder Used in the Semiconductor and Flat Panel Display Manufacturing Equipments
渡 邊   克 己 <sub>Katsumi</sub> Watanabe	福地昭 大内 昌雄 川田 徹 Akira Fukuchi Masao Oouchi Tooru Kawada

概要 従来から,半導体や液晶TFTディスプレイの製造装置には,基板ガラスを処理する部材としてア ルミニウム合金板にヒータを組み込んだヒーティングプレート(基板ホルダー)が使用されてきた。ヒー タの組込みは溶接または鋳造(鋳包み)によって行われてきたが,基板ホルダーの大型化に伴い,ヒータ組 込み作業時間増大の問題やアルミニウム板とヒータとの熱膨張差の問題を初めとして,基板ホルダーとし て要求される高真空シール性,平面均一性,熱均一性などの高品質要求に対応するのが困難な状況となっ た。開発した熱間鍛造接合基板ホルダーは2枚のアルミニウム合金プレート界面に形成された嵌合空隙 にヒータ回路を埋め込む際に大型鍛造プレスを使用し,ワンショット加圧で大面積のアルミニウム合金プ レート同士を金属接合し,同時にヒータとアルミニウム合金プレートの密着を行うことを特徴としてい る。これらの基板ホルダー大型化の問題を解決し,第3世代(600×700 mmのサイズ)から採用されて いる。2004年10月に稼動した大型15,000 ton鍛造プレス装置は4×3 mサイズの大型テーブルを有し, 約2 m角を越える第6世代から現在,最大の第8.5世代(2200×2500 mmのサイズ)に至る大型基板ホ ルダーの製造を可能にしました。現在,第6世代以降の基板ホルダーの世界シェアを独占している。

Abstract: A heating plate of aluminum alloy with built-in heaters called "substrate holder" is used for processing glass substrates in the manufacturing equipment for semiconductors and liquid crystal TFT displays. In the past the built-in heaters have been installed either by welding or by casting (cast-in insertion). But the current situation is that, as the substrate holder grows in size, it has become difficult to cope with the upgraded quality requirements such as high vacuum sealing, planar uniformity and thermal uniformity, as well as with the issues of increased work time for heater installation and the difference in thermal expansions between the aluminum plate and the heater. The hot forging-bonded substrate holder developed here is characterized by its new manufacturing method in which a large forging press is used to embed the heater circuit into the limited space between the two engaging aluminum alloy plates, whereby the aluminum plates of large area are metal bonded together, and simultaneously, the heater and the aluminum plates are brought into close contact. This manufacturing method has solved the manufacturing problems involved with the large-sized substrate holders, and has been employed since the third-generation substrate holders measuring 600 mm × 700 mm. A jumbo-size 15,000-ton forging press with a large work table of 4 m × 3 m in size has come into operation since October 2004, enabling manufacturing of large-sized substrate holders ranging from the sixth generation measuring in excess of approximately 2 m square to the current eight-and-half generation measuring 2,200 mm × 2,500 mm. We keep the entire world market of substrate holders since the sixth generation to ourselves.

# 1. はじめに

ガラス基板に薄膜半導体(thin film transistor:TFT) を成膜して作られるTFT液晶ディスプレイは携帯電話 やノート型パソコン,液晶テレビなどに幅広く利用されている。なかでも液晶テレビは2001年に発売以来,薄型, 省スペース,高画質などの特徴に加え,大画面液晶の採 用により販売台数の著しい伸びを示し,現在,最大サイ ズ108インチ型が開発され,液晶ディスプレイの普及に 大きく寄与している。液晶ディスプレイの飛躍的な発 展を支えてきたのはディスプレイ構成部材の大型化であ り,なかでも液晶パネルの大型化が鍵となる技術であっ た。

本稿では,TFT液晶ディスプレイ用パネルを製造す る一連の装置のなかで最も重要なTFT成膜装置に使用 され,その心臓部ともいえる部品である「基板ホルダー」 に関して,その大型化を可能にした鍛造接合(鍛接)技術 について紹介する。

## 2. 半導体成膜装置と基板ホルダー

まず, 基板ホルダーが使用される薄膜半導体(TFT) 成膜装置(CVD装置)について概要を述べる。図1に液



(a) 基板ホルダーとガラス基板 (b) 液晶 T V 断面

図1 液晶ディスプレイの基本構造と基板ホルダー Fig.1 Basic structure of liquid crystal display and substrate holder. 晶ディスプレイの基本構造と、基板ホルダーの位置付け を模式的に示す。図1 (b) は液晶テレビの断面を示し、 バックライトの光がガラス基板→液晶→カラーフィルタ を透過し我々の眼に映像が映る。ガラス基板にはTFT が成膜されており、これが電気的に液晶をコントロール し、光の3原色(赤・青・緑)の通過度合を変化させるこ とにより映像が得られる<sup>1),2)</sup>。基板ホルダーは図1 (a) に示すように、TFTを成膜する際にガラス基板を支え る部材である。

図2にガラス基板の製造工程を示す<sup>3)</sup>。ガラス基板に はPVD装置で金属膜が形成され、その上にCVD装置で TFTが成膜され、さらにコータデベロッパ・ステッパ・ エッチャ・アッシング装置を通ってTFTのドットが形 成されてTFTガラス基板が完成する。基板ホルダーは CVD装置(TFT成膜装置)において使用される。図3(b) に基板ホルダーの構造と、それがTFT成膜装置の高真 空チャンバ内に組込まれた状態を模式的に示す<sup>4</sup>)。基板 ホルダーの内部にはシースヒータが配置され、ヒータは 中心部の棒状の部分から大気中へと導出される。基板ホ



図2 TFT ガラス基板の製造工程 Fig.2 Manufacturing process for TFT glass substrate.



- (b) There are a fault to a later
- (c) Appearance of substrate holder.

ルダー上にはガラス基板が載せられ,高温・高真空中で TFT成膜処理が行われる。図3(c)は基板ホルダーの外 観である。また,成膜装置の高真空チャンバは同時に数 個が配置され(図3(a)),ガラス基板はその中を順次移動 することによって種類別に何層かのTFTが成膜される。 TFT層の厚さは数µmオーダの均一性が必要なので,ガ ラス基板を支える基板ホルダーにも高度な精度と特性が 要求される。

# 3. 製造装置大型化の要求

パソコン用液晶ディスプレイは次第に大型化されてき たが、液晶テレビ画面の大型化の進展はそれ以上のもの であった。製造各社がブラウン管テレビから液晶テレビ にシフトすると同時に画面の大型化競争が始まり、それ に従って大型液晶ガラス基板を製造する装置の開発要求 が強まった。図4(a)に液晶テレビ画面のサイズ別販売 台数の推移と予想、図4(b)にそれにより必要となる液 晶パネルのトータル面積の推移をサイズ別に示す<sup>3)</sup>。販 売台数は全体として大きな伸びを示し、特に37インチ以 上の大型液晶テレビの伸びが大きくなると予測される。 それにより液晶パネル面積の伸び率はさらに大きくな り、37インチ以上が全パネル面積の半分以上を占めるこ



- 図4 液晶TVのサイズ別販売台数(a)及び液晶パネ ルのトータル面積(b)の推移
- Fig.4 Trends in the sales of liquid crystal TVs according to size (a), and total areas of liquid crystal displays (b).

とになる。

テレビサイズの大型化に連動したパネルの大型化と ともに、ガラス基板1枚からより多くのパネル枚数を取 ることで、生産効率を高め液晶パネルのコストダウンを 図る努力がなされてきた。そのため、液晶パネルの製造 装置はほぼ毎年のように大型のものが開発されてきた。 図5には各開発年度でのガラス基板サイズの変遷と、区 切りを示す"呼び世代"を示す5)。液晶ディスプレイが スタートした1990年代後期の第1・2世代の面積(0.5× 0.4 m)を1とすると、2007年の第8世代(2.4×2.2 m)の ガラス基板面積は26.4倍であり、年間平均約3倍で拡大 されてきたことになる。

1枚の大型ガラス基板から多数枚のテレビ用液晶パネ ルを採取する具体例を図6に示す。第6世代では37イン チのガラス基板が6枚採取されるのに対し第8世代では 45インチが8枚採取でき,液晶テレビのサイズアップと 採取枚数の増加が見える。2008年には、第8世代に対し



図5 ガラス基板のサイズと "呼び世代"の推移 Fig.5 Trends in glass substrate size and the name of generation.



図6 ガラス基板サイズとTV用液晶パネルの多数取り Fig.6 Size of glass substrates and multi-panel substrate for liquid crystal display TV. 面積が約2倍となる第10世代の超大型パネルが計画されている。

#### 4. 基板ホルダーの使用環境と要求される性能

TFT成膜装置に組込まれ心臓部となって重要な役割 を果たす基板ホルダーについて、使用される環境および 要求される性能を**表1**に示す。使用される環境は、①高 真空(Heリークレート10<sup>-9</sup>~10<sup>-10</sup>Pa・m<sup>3</sup>/s)、②高温 (350~450℃)、③プラズマ発生中、④高腐食性ガス中、 と過酷なものである。

②の高温を得るために基板ホルダーにはヒータを内蔵 し、一般にはそれを埋込んだ後の接合部が存在する。① は通常の機械的接合では到底保つことができないスペッ クであり、高真空に耐えるために接合部は完璧なシール 性を有することが必要となる。また③のプラズマ発生時、 電位差を一定に保つため基板ホルダー上面は高温で高精 度の平面性を維持する必要がある。しかしヒータのシー ス材はステンレス(または耐熱鋼)であり、アルミニウム 母材との熱膨張差によって基板に応力とひずみを発生さ せ平面性を悪化させるので、これを抑止する必要がある。 なお、④の高腐食性ガス中での使用は、鉄・ステンレス 系材料では耐食性が不足して対応できないが、アルミニ ウムでは耐えられることが確認されている。

#### 5. 基板ホルダー製造における従来技術の問題点

基板ホルダー製造における従来技術(鋳込み工法と溶 接工法)の対応可否と問題点をまとめ、表2に示す。1990 年代には、シリコンウエハ (φ 300 mm 程度) 上に半導体 を成膜するための丸型基板ホルダーと第1・2世代ガラス 基板 (0.5 × 0.4 m) 用の小型基板ホルダーが製造され、こ れらには主としてシースヒータをアルミニウム合金で鋳 込む方法が採用されていた。しかしながら全体として 信頼性にやや劣るものであった。1997年頃からガラス 基板サイズが700×600 mmの第3世代の開発が行われ. まずこの鋳込み工法が採用された。しかしこのサイズに なるとヒータを厚さ方向の中心部に均一に配置すること が困難で、熱分布が不均一になる問題が顕在化した。そ のため、鋳込み型内部にヒータを中心部に固定するため の支え枠を配置する試みがなされたが、支え部材とアル ミニウム部材との密着が不完全で高真空シール性を保つ ことはできなかった。また、重力鋳造法からの技術改善 として高圧鋳造法が採用され開発が進められたが、熱均 一性と高真空性の信頼度を高めることができず、製造歩 留りも低いものであった。

鋳込み工法に代わり第3世代の基板ホルダーの要求仕

様をクリアしたのは溶接工法であった。溶接工法は、ア ルミニウム合金厚板の厚さ中心位置にシースヒータが 納まるように機械加工により表面から溝を掘り、そこに ヒータを配置した後、ヒータを押さえながら溝を埋める ためのアルミニウム合金部材を上から挿入し、それを溶 接で母材と接合する工法である。しかし一辺が1 mを超 える第5世代になると、全溶接長が10 mを超えることに なり、溶接部の不均一などにより高真空シール性に対す る信頼性が低下するとともに、ヒータとアルミニウム母 材との線膨張量の差によって隙間が生じる問題が顕在化 した。隙間が生じるとアルミニウム母材への熱移動が不 十分となり、温度不均一のため基板ホルダーの平面度が 保たれなくなり、またヒータが異常昇温して破断に至る こともあった。

## 6. 鍛接工法の開発

当社は第3世代の開発期であった1997年頃, 基板ホル ダーの開発をスタートした。最初は鋳込み工法をトライ したが, 真空シール性の問題から早い段階で中止した。 次にヒータを展伸材で挟み込む方法, 金属パッキンによ るボルト締結法, 更には溶接工法を検討したが, いずれ も真空シール性の問題を解決できず早々に断念した。

結局,要求仕様であるHeリークレート10<sup>-9</sup>~10 <sup>-10</sup>Pa・m<sup>3</sup>/s をクリアするには金属接合しかないとの結 論に至り,金属接合法の検討を開始した。検討過程でま ず参考にしたのは圧延クラッド材の接合(**図7**)である。

表1 基板ホルダーの使用環境と要求される性能 Table 1 Process environment and requirements for substrate holder.

使用環境	要求性能	
① 高真空	耐Heリーク性 (10 <sup>-9</sup> ~10 <sup>-10</sup> Pa · m³/sec)	
② 高温(350~450°C)	ヒータの耐久性 温度分布の均一性	
③ プラズマ	高精度平面度 (電極間距離の維持)	
④ 高腐食性ガス	アルミニウム合金 (5052合金/6061合金)	

表2 基板ホルダーの大型化に伴う従来技術の問題点 Table 2 Problems with conventional technologies against substrate holders' size growth.

	従来技術			
基板ホルダー要求性能	鋳込工法	溶接工法		
	0.5 m角以下	1 m角以下	1 m角超え	
1. 高真空 (耐Heリーク性)	$\bigtriangleup$	0	$\bigtriangleup$	
2. ヒータの耐久性 温度分布の均一性		0	× 破断	
3. 高温での平面度維持		$\bigtriangleup$	× ひずみ	

クラッド圧延においては異種材料が金属接合されるが, ロール直下では集中荷重状態にあり塑性変形が生じてい る。この集中荷重と塑性変形を2枚のアルミニウム合金 板の間で生じさせればよいが,ヒータを挟み込んだまま 圧延することは不可能である。圧延を行わずに金属接合 させるヒントは,木組みに見られるほぞとほぞ溝(図8) であった。このほぞとほぞ溝の組合せと,両部分の体積 差を考慮し,垂直方向に加圧を行って荷重の集中と塑性 変形を生じさせればヒータにはほとんど影響を与えずに 接合ができるのではないかと考えた。

このアイディアを基に開発した鍛接工法を図9に示 す<sup>4)</sup>。鍛接工法は,(a)真空シールを行うべき部位に環 状に凹凸を設け,(b)それを組込み後,(c)高温に加熱 し熱間で高加圧を行ってその部分に集中荷重を発生さ せ,(d)塑性変形させて金属接合するものである。すな



図7 金属接合の例 (アルミニウムクラッド材) Fig.7 Example of metal bonding (aluminum clad material).



図8 木組み(ほぞとほぞ溝) Fig.8 Timberwork (tenon and mortise).



図9 鍛接工法 Fig.9 Forge bonding process.

わち、基板ホルダーの最外周部に、貫通孔が必要な部分 にはその孔の周囲に、さらにはシースヒータの形状に応 じて必要な部位に凹凸を配置する。そして、凹凸加工が 施された上下の板を高温状態で全面均一に加圧し、全凹 凸部を同時に変形させて1ショットで短時間のうちに接 合を行う。この凹凸部分は、凸部体積が凹溝部より大き くなるようにするが、安定した接合を得るためにその体 積差と凹凸形状について種々検討を行い、最良形状の追 及を行った。また、シースヒータをアルミニウム母材と 完全に密着させるようにヒータ設置溝の寸法を調節して いる。熱間での加圧は鍛造プレスによって行うが、第6 世代以降の大型基板ホルダーの製造には、当社が2004年 に導入した日本最大の15.000 ton 鍛造用プレス(図10) を使用している。ちなみに、鍛接部分の全長は第8世代 の基板ホルダーでは約40mを超えるものとなっている。 なお, 基板ホルダー用アルミニウム合金板材には通常 6061合金を用いる。

# 7. 鍛接工法による基板ホルダーの健全性の確認

上記のとおり鍛接工法により基板ホルダーの製造が可 能となったが、次にその健全性と特性について述べる。 図11は鍛接部の断面ミクロ組織である。鍛接部はエッ チング後に薄い筋が認められるが、金属的に接合してい るように見える。この筋は肉眼でも確認できるので、筋 部の両端にノッチを入れ鍛接部から破断させた。破面の SEM像を図12に示す。典型的なディンプル組織を呈し、 鍛接面は完全に金属接合していることが確認できる。さ らに念のため、鍛接面が引張方向と直角になるように試



図10 15,000 ton 鍛造用プレス機の外観 Fig.10 Appearance of 15,000-ton forging press.

験片を採取し、引張試験を行った。その結果、図13に示 すように鍛接部以外の部分から破断が生じ、やはり鍛接 部は完全に金属接合していることが確認された。これに より、基板ホルダーの完全な高真空シール性が確保され ることが証明された。

鍛接工法による基板ホルダーは、長期間使用しても ヒータの破断はもちろん熱による変形もほとんど生じ ず、極めて安定的に良好な特性を持続できることが確認 されている。その理由について次に記す。まず、図14 に鍛接基板ホルダーのシースヒータ部の切断面と透過X 線写真を示す。ヒータとアルミニウム母材との間に隙間 はなく、両者は完全に密着していることが確認できる。

図15は、従来の溶接工法と鍛接工法における高温加 熱時のヒータおよび母材の膨張を模式的に示したもの である。アルミニウム母材の線膨張係数は24.0×10<sup>-6</sup>、 ヒータシースのSUS304は17.5×10<sup>-6</sup>と小さい。よって、 もしヒータと母材とが完全に分離されていると、室温か らTFT成膜温度である約400℃に加熱された場合、長さ 1 mに対し2.5 mm、3 mでは7.5 mmもの大きな寸法差 が生じることになる。溶接工法(a)においてはヒータと アルミニウム母材との密着が十分でないので、400℃程 度に加熱されるとヒータは母材に引張られ、上記寸法差



図11 鍛接部断面のミクロ組織 Fig.11 Cross-sectional microstructures of forge bonding.



図12 鍛接部破面のSEM像 Fig.12 SEM image of fractured forge-bonded area.

または密着度に応じて所定の寸法分だけ伸ばされる。一 方,母材はヒータ近傍では熱膨張差の影響で圧縮応力を 受けることになるが,高温のため耐力が低いので局部的 にひずみが発生し,繰返し加熱により基板が変形してい く。さらには,ヒータと母材の隙間が大きくなって熱の 不均一が助長される,ヒータが破断に至るなどの不具合 が生じる。

一方, 鍛接工法(b)においては, 鍛接をTFT成膜温度 と同等の400℃近辺にて行うので, その時点ではヒータ と母材との間に線膨張差は生じていない。これを室温に 戻した段階では, ヒータは母材に拘束されて圧縮応力を 受ける。母材は逆にヒータ近傍で部分的に引張応力を受 けるが, 室温であるため耐力が高く, ひずみ発生に至ら ない。高温の使用温度では鍛接加工時の状態に戻るので, ヒータと母材とはバランス状態を保つことになる。よっ て高温で繰返し使用しても, この圧縮⇔バランスの繰返 しによってヒータに無理がかからず, 当然ヒータと母材 との隙間も発生しないため熱の均一性が保たれ, 母材の ひずみ変形も生じない。

以上より,表1に示す要求性能をすべて満たすことの できる鍛接工法による大型基板ホルダーの製造が可能と



図13 鍛接部の引張試験結果と鍛接部断面組織 Fig.13 Tensile test results and cross-sectional microstructures of forge bonding.



図14 ヒータ部断面と透過X線写真 Fig.14 Cross section and transmission X-ray photograph of heater.



図15 基板ホルダーの室温及び高温加熱によるアルミニウム母材とヒータシースとの線膨張状態変化 Fig.15 Changes in the linear expansion of aluminum base material and sheath heater during high-temperature heating of substrate holder.

なった。すなわち,①高真空シール性は鍛接による完全 な金属接合により確保され,②高温使用時の温度分布の 均一性とヒータの耐久性,および③高精度平面度の維持 は、いずれも使用温度と同等の高温で鍛接によってシー スヒータを母材に強固に拘束することで達成された。

## 8. おわりに

- TFTガラス基板用半導体成膜装置に使用される基 板ホルダーの製造において、アルミニウム合金板 材に凹凸部を付しその部分を組合せ、熱間で金属 接合させる鍛接工法を開発した。
- 2) 基板の大型化要求に対して従来の溶接工法などで は対応不可能であったが、鍛接工法による大型基 板ホルダーは、耐高真空リーク性、高温での温度分 布均一性、ヒータの耐久性および基板面の高精度 平面度維持などの要求特性をすべて満たした。
- 3) 鍛接基板ホルダーは、ガラス基板第5世代(1.3× 1.2 m)から第8世代(2.4×2.2 m)に至る世界中のす べての製造装置に採用されている。さらに第10世 代(3.2×3.0 m)の装置にも対応予定である。
- 4) 鍛接技術は接合部の信頼性が高く、高温、高真空など過酷な環境においても対応可能な技術である。
  今後、本技術を応用した様々な部材の開発を目指していきたい。

最後に,小山田記念賞受賞にあたり,本開発にご協力 いただいた方々に改めてお礼を申し上げます。また,本 解説を始めとして有益な機会を与えて頂いた(社軽金属学 会関係の方々に深く感謝の意を表します。

なお,本論文は2015年金属学会発行の軽金属 VOL.58 NO.3 (2008)に掲載されたものを転載しております。

#### 参考文献

- 1) シャープ株式会社 ホームページ 技術情報
- 2) キヤノンアネルバ株式会社 ホームページ フクタロウの部屋
- 3) 岩井善弘, 越石健司: ディスプレイ部品・材料 最前線, (2004), 8.
- TFT液晶ディスプレイCVD装置ヒーティングプレート,古 河電工時報,110 (2002),117.
- 5) 堀口青史: FPD 製造装置 (第45回アルミニウム研修会テキスト), 1.



渡邊 克己 (Katsumi Watanabe) 鋳鍛事業部鋳鍛工場



福地 昭 (Akira Fukuchi) 鋳鍛事業部鋳鍛工場



大内 昌雄 (Masao Oouchi) 鋳鍛事業部鋳鍛工場



川田 徹 (Tooru Kawada) 古河スカイ㈱(現在:古河産業㈱)