

(解説)

半導体・液晶製造装置用アルミニウム部材の技術動向

Technological Trend in Aluminum Parts Used for Semiconductor and LCD Manufacturing Apparatuses



田中敏行*
Toshiyuki TANAKA



小松信夫*
Nobuo KOMATSU



菅野裕人*
Hiroto SUGANO



和田浩司**
Koji WADA



赤澤浩一**
Koichi AKAZAWA

With the trend toward high integration of semiconductor devices, lower contamination has been requested in the process chamber and part use for its manufacturing. One of the significant factors is to control cracking of anodic oxide film formed on the aluminum part. This article reports evaluation procedure and control technology of the anodic oxide film. Recent development of high-speed cutting technology for a larger equipment part which has been applied to large size LCD manufacturing tool is also described.

まえがき = 半導体デバイスや液晶パネルの製造装置部材には広くアルミニウム合金が使用されている。その理由は軽量，機械加工性が良い，耐食性表面処理が可能，材料からのガス放出が少ない，などの利点があるからである。

当社は，これらアルミニウム合金の特長を生かす材料設計技術をもとに，機械加工，陽極酸化処理までの一貫製造技術と生産・品質保証体制をつくり，アルミニウム合金製の半導体・液晶製造装置用表面処理部材や液晶製造装置用大型真空チャンバなどをユーザに提供している。

近年の半導体デバイスの高集積化に伴い，半導体製造装置部材に対しては腐食性ガス・プラズマ環境下での一層の低汚染化，高耐食性が要求されている。一方，液晶製造装置に対してはガラス基板の大型化に対応したチャンバなどの大型製品を実現する加工技術が必要になっている。

本稿では，半導体・液晶製造装置用部材に対する当社の取組みを紹介する。

1. 半導体・液晶製造装置用表面処理部材

1.1 技術動向

腐食性ガスやプラズマ環境で使用される多くの半導体デバイスや液晶パネルの製造装置部材には，耐食性付与のため陽極酸化処理が施されている。当社では，アルミニウム合金材料の知見を生かし，合金組織，および陽極酸化皮膜のミクロ構造を制御することにより，耐ガス腐食性，耐プラズマ性を飛躍的に向上させた特殊陽極酸化処理材“K.PRAS®(KOBELCO Plasma Resistant Aluminum use for Semiconductor grade)”を開発し，製品化した^{1)~3)}。また，多様化するニーズに対応した表面処理仕様を拡充している。

ここ数年の間に半導体デバイスの配線幅は100nm以下が主流になり，高集積化が進んでいる。それに伴い高度で複雑なデバイス形成プロセスが開発されており，装置部材に対しても，汚染や発塵の一層の低減と性能安定性が要求されている。当社もこれらのユーザニーズにこたえるため，陽極酸化皮膜の性能向上のための開発を進めている。

1.2 K.PRASの特徴

当社が開発した半導体・液晶製造装置用表面処理材であるK.PRASについて，以下にその特徴を述べる。

- 1) 最高450℃での耐ガス腐食性，耐プラズマ性を有する。これは陽極酸化皮膜のミクロ構造，およびアルミニウム合金組織の制御により，皮膜を貫通するクラックを抑制することで得られ，汚染や発塵を顕著に低減した。
- 2) 陽極酸化処理用の薬液調製，処理条件の最適制御により，プロセスごとに適合した皮膜性能を提供することが可能である(表1)。これらは独自の評価技術により，顧客のプロセス環境に最も適合する陽極酸化皮膜を設計し，その製造条件を開発，蓄積することにより得られた。

表1 陽極酸化皮膜 K. PRAS の基本仕様及び特性
Table 1 Basic specifications and properties of K.PRAS

Specifications	Type A	Type G	Type K
Fundamental solutions	Oxalic	Oxalic/sulfuric	Sulfuric/oxalic
Application of parts	Chamber, electrode, heater components, etc.		
Application of process	← PE-CVD →		← Dry-etch →
Temperature	> 300	150 - 350	< 200
Plasma/gas	NH ₃ , CF ₄ , C ₂ F ₆ , SF ₆ , ...		Cl ₂ , BCl ₃ , ...

*アルミ・銅カンパニー 大安工場 **技術開発本部 材料研究所

3) 材料から機械加工, 陽極酸化処理までの一貫製造・品質保証により, 顧客の「全く同じ部材は全く同じ動作をする」という考え方 “Copy Exactly” に対応する安定した高性能の製品が提供可能である。

当社開発の K.PRAS は, 特に安定的な高耐食性が要求される電極部材で採用されており, このほかにもユーザでの部材の使用環境などを考慮し, 最適な陽極酸化皮膜設計を行うことにより, 適用製品を拡大している。

1.3 耐クラック皮膜設計技術

現在, 装置部材の材料としては一般的に, 6061, 5052 などのアルミニウム合金が使用されているが, 半導体デバイス高集積化の中で, 部材中に含有される Fe, Cu などの重金属を低減するニーズが高まっている。

重金属低減のためには, 材料中の合金成分を低減することが考えられる。しかしながら, 皮膜の耐クラック性は基材合金成分に影響を受け, 合金成分を低減すると皮膜にクラックが生じてアルミニウム基材が腐食損傷し, パーティクルが発生する場合がある。そのため, 適用される合金成分の場合に, どのようなクラック挙動を示すかを把握する必要がある。

半導体製造装置用の陽極酸化処理アルミニウム部材の表面皮膜にクラックが生じるのは, デバイス製造過程で受ける熱サイクルにより皮膜に皮膜自身の強度を上回る応力が加わるからであるが, その応力は陽極酸化による成膜時の残留応力と, 皮膜と基材の熱膨張差による皮膜応力増加の和と考えられる。そこで, それぞれの項目について測定方法を考案し, クラックの生じない皮膜設計技術の開発に取り組んでいる。

1.3.1 皮膜残留応力の測定方法

皮膜の残留応力は片面に処理した基材アルミニウム合金の反り量と相関し, 反り量は図 1 に示すレーザーを用いた方法にて測定できる。そこで, 皮膜の残留応力は式 (1) から算出できる。

$$\text{皮膜の残留応力} = \frac{E_s}{1 - \nu_s} \cdot \frac{h_s^2}{12h_f} \cdot \frac{d}{d_0} \cdot \frac{1}{L} \cos \dots (1)$$

ここに,

E_s, ν_s : 基材アルミニウムのヤング率, ポアソン比

L : 基材とレーザー光検出器の距離

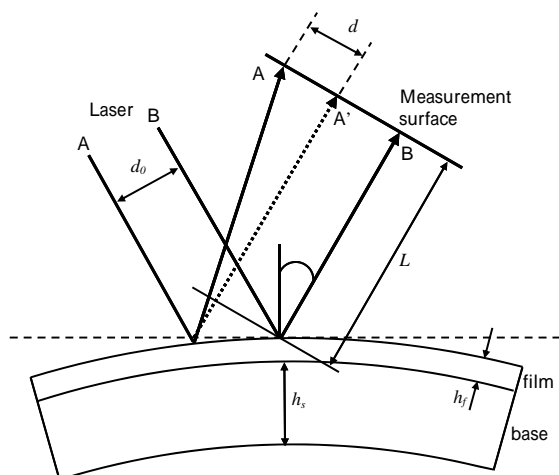


図 1 皮膜残留応力の測定方法

Fig. 1 Measuring method of film residual stress

h_s, h_f : 基材, 陽極酸化皮膜の厚さ

d_0 : 入射レーザー光の幅

d : 反射レーザー光と入射レーザー光の幅の差

: レーザ光の反射角度

レーザー光での入射光や反射光の幅, 反射角度, および基材とレーザー光検出器の距離は, 基材の曲率半径を幾何学的に計算するためのもので, 基材の板厚, ヤング率, およびポアソン比は, 残留応力と基材の曲率半径の相関係数にかかわるものである。

図 2 に膜厚と皮膜残留応力との測定結果の関係の模式図を示す。膜厚が薄いと圧縮応力が生じているが, 膜厚が厚くなると引張応力となる。

1.3.2 加熱による応力の測定方法

加熱により皮膜に生じる応力は, 室温から当該温度までの基材の伸びと皮膜の伸びの差に当該温度での基材のヤング率を乗ずることにより求められる。

基材の伸びは線膨張係数測定法にて測定した基材の線膨張係数から求められ, 皮膜の伸びは皮膜表面の 2 標点間距離の加熱による変化を加熱 SEM にて観察して求められる。また, 基材のヤング率は当該温度での曲げ共振法にて測定できる。

図 3 に加熱温度による皮膜に生じる応力変化の測定の模式図を示す。皮膜のほうが基材よりも伸びが小さいため, 加熱により引張応力が増加する。

1.3.3 耐クラック皮膜の設計

半導体製造装置に用いられる陽極酸化処理部材には, 熱特性やプラズマ発生に関する電気特性なども要求さ

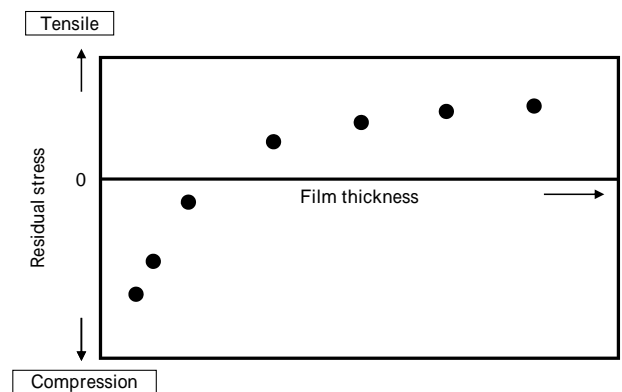


図 2 皮膜厚さと皮膜残留応力測定結果の模式図

Fig. 2 Schematic diagram of measuring film residual stress in each thickness

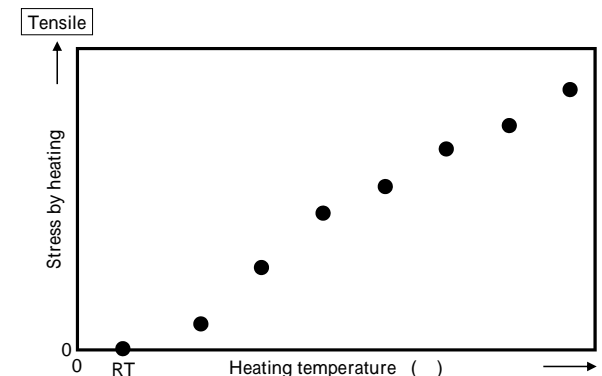


図 3 各加熱温度における応力測定の模式図

Fig. 3 Schematic diagram of measuring stress at each heating temperature

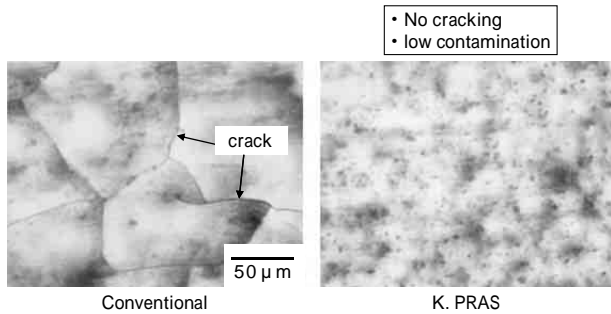


図4 450 加熱試験後の表面状態

Fig. 4 Appearance of anodized coupon after heating at 450

れ、部材の使用条件ごとに陽極酸化皮膜の膜厚などに制約を受ける。

従来、これらの要求や制約を満足する耐クラック性皮膜の開発には、陽極酸化処理条件を経験的に変化させて耐クラック性を調査する方法で行ってきたが、前節までに述べた皮膜に加わる応力にて耐クラック性を定量的に予測できるようになった。

図4に重金属を低減したアルミニウム合金の基材に形成した皮膜の450 加熱試験後の表面状態を示す。従来の皮膜ではクラックが多数認められたが、今回の予測方法を適用して形成した皮膜ではクラックは発生しなかった。このように、陽極酸化処理条件と皮膜に加わる応力との関係を把握することが耐クラック性皮膜の設計に有用であることがわかった。

今後、各種基材アルミ合金種、陽極酸化処理液組成での定量的基礎データを蓄積し、より高性能な耐クラック性皮膜を設計、提案していく。

2. 液晶製造装置用部材

2.1 技術動向

液晶TVの大型化、需要拡大、および生産性向上のため、液晶用ガラス基板サイズは、第8、第10世代と大型化が進んでいる。これらに対応する大型の製造装置の素材としてアルミニウム合金が多く使用されるようになってきた。その理由は、一つにはアルミニウムの軽量化（比重がステンレスの約1/3）が挙げられる。そのため装置の軽量化が可能となり、工場の床強度が軽減できるため工場建設費が低減できる。もう一つは、アルミニウムの方がステンレスよりもガス放出が少なく、真空到達時間が短くなり装置の立上時間が短縮できるという利点があるためである。今後もこれらの利点により、アルミニウムのさらなる利用拡大が期待される。

2.2 当社大型チャンバ加工の特長

当社が加工している大型チャンバについて、以下にその特長を述べる。

- 1) 大型チャンバの加工に必要な材料を自社調達できる。加工用のアルミニウム素材の確保について、当社は真岡製造所という国内最大級のアルミニウムスラブを製造する拠点を有し、安定品質面、納期面で十分な材料供給能力を有している。
- 2) 難易度の高いアルミニウムの溶接技術を有する。大型化に伴い、厚板からの削出しに比較して、溶接構

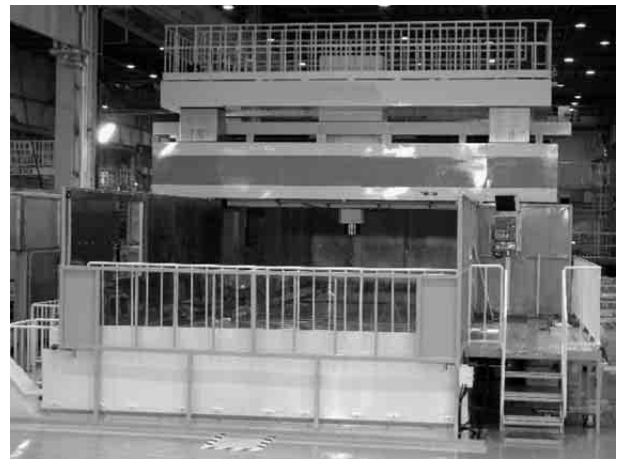


図5 大型加工機

Fig. 5 Large-scale machining center

造にする方がコスト面で優位である。

- 3) 大型のマシニングセンタを有する(図5)。大型チャンバ加工に対応した大型のマシニングセンタを新規に導入しており、第10世代のチャンバ部材の加工に対応が可能である。
- 4) 大型チャンバに対応した高度な切削加工技術(次節で詳述)を有する。切削加工という要素技術を核に、最適な加工条件を見出すための技術開発を行っている。

このように、素材、溶接技術、切削技術など、自社の総合力で高品質な製品を提供できることが当社の強みである。

2.3 大型チャンバに対応した切削技術

大型チャンバの加工には、長尺工具を用いる部分が多い。こうした工具を使用しながら生産能力を向上するためには、高速回転で切削を行う必要がある。しかし高速回転での切削では、切削条件と設備剛性などの要因により、「びびり振動」と「工具の回転振れ」という二つの問題が生じ、高精度での切削が困難となる。そこで、びびり振動の発生限界となる切削条件を予測する技術、および高速回転時に発生する工具の回転振れ低減技術を開発し、長尺工具での安定した高速加工を実現した。

2.3.1 びびり振動予測技術

エンドミル加工では加工面に振動の軌跡が転写されるが、この軌跡が影響して自動びびり振動(以下、びびり振動という)が発生することがある。びびり振動は仕上げ面粗度の低下や工具の欠損を招くため、高効率加工の阻害要因となる。

そこで、インパルス応答法により工具-主軸系の伝達関数を測定した。そして、切削条件の影響を考慮した切削力予測モデルにより予測した切削抵抗を入力条件とし、びびり振動の発生を予測した。一般的な超硬エンドミルにおいて本手法によりびびり振動の発生限界条件予測を行った結果が図6である。従来は、びびり振動が発生すると加工効率を下げ方向に調整することによって抑制することが一般的に行われているが、本技術により高効率加工領域で安定した加工条件を選定することが可能となる。

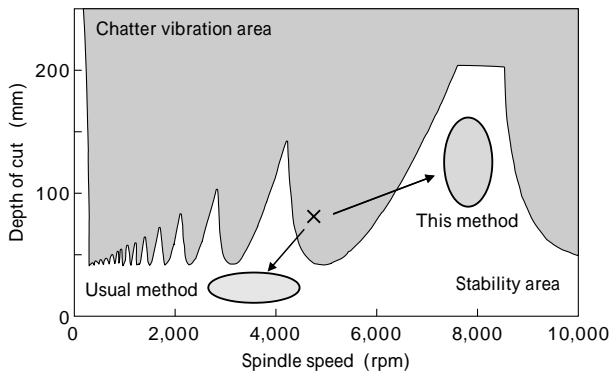


図6 びびり振動予測技術による主軸回転数の最適化

Fig. 6 Optimization of spindle speed by prediction method of chatter

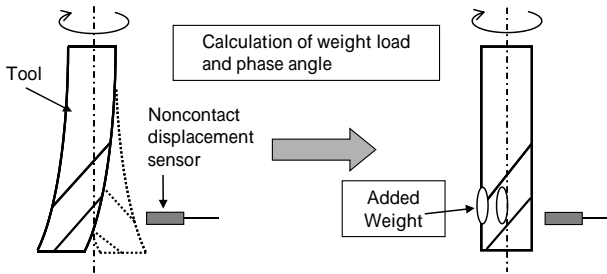


図7 動バランスの調整方法

Fig. 7 Adjusting method of weight balance

2.3.2 工具の振れ抑制技術

振れの低減には、工具の形状精度の向上や取付精度の向上などの静的な調整を行うのが一般的であるが、長尺工具では十分な効果を得ることができず、動的な調整が必要となる。そこで、図7のような簡便で効率的な動バランス調整が可能なシステムを開発した。このシステムにより動バランスを調整した工具を使用すると、高回転域でも振れが増加しないため、仕上加工面も良好であることが確認された。本手法により、高品質を維持しつつ、加工時間の大幅な短縮を実現した。

むすび=半導体デバイスの高集積化が進み、それに伴って高度で複雑なプロセスが開発されている。装置部材に対しても、一層の汚染や発塵の抑制、性能安定性が要求されている。当社は、ユーザの要望にこたえる製品を提供し続けるため、表面処理技術のさらなる高度化に取り組んでいく。

また、大型チャンバの需要は液晶パネルに加えて太陽電池分野でも急伸している。その他、有機EL分野での活用も期待できる。これら新しい分野においてもユーザの要望にこたえる製品の性能向上のため、材料から加工までの一貫製造、さらなる切削技術の向上に取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 久本 淳ほか：R&D 神戸製鋼所技報，Vol.48, No.3 (1998) p.84.
- 2) 菅野裕人ほか：R&D 神戸製鋼所技報，Vol.54, No.1 (2004) p.121.
- 3) 田中敏行ほか：R&D 神戸製鋼所技報，Vol.55, No.2 (2005) p.85.