

(解説)

半導体製造装置用高精度アルミニウム合金厚板

High Accuracy Aluminum Alloy Plates for Semiconductor Manufacturing Equipment



小林一徳
Kazunori Kobayashi



星野晃三
Kozo Hoshino

In the semiconductor industry, aluminum alloy plates are widely used for key components such as vacuum chambers and base plates. The cutting process is an important and very difficult process due to the complex shape of such components. In order to minimize processing, the required qualities for aluminum alloy plates are: 1) high accuracy in thickness, and excellent flatness; 2) little deformation after processing. ALHIGHCE™ and ALSORAN™ are described and compared with other alloys from the standpoint of cutting, strength and surface treatment.

まえがき = 産業用機器・装置類において、従来、構造用鋼・ステンレスなどの鉄系材料の使用が中心であったが、新機能付与による大型化ならびに製造台数の増加により、軽量化が指向されている。特に、最近の電気・電子機器の増加により、半導体製造装置、検査・計測機器、光学機器は製造台数が増加している。また医療の高度化により、医療機器新製品の開発・製造も盛んである。

当社では、こういった装置用構造材料へのニーズに応じて、熱間圧延条件の厳密な制御を中心として、板厚精度の極めて優れる「アルハイス™」、切削加工時の変形の少ない「アルソラン™」を開発した。ここでは、これら高精度厚板の特徴ならびに切削時の特性などについて解説する。

1. アルミニウム合金の機械的特性・物理的特性

機械的特性及び物理的特性を他の金属と比較して表1に示す。アルミニウム合金は比重が小さく、比強度並びに比弾性率が最も高い。

アルミニウム合金は鉄鋼材料や銅合金材料と比較して切削抵抗が小さい¹⁾。また、熱伝導性も高いため切削加工時の熱の除去が容易であることから、周速1200m/分以上の高速での切削が可能であり、切込み量や送り量を

大きくとることができる。仕上げ面の品位や精度も高く、粗さ10μm程度の加工精度も容易である。

半導体製造装置の部材加工は、マシニングセンターを用いて、表面切削加工、孔あけ加工、溝加工を中心に行われる。例えば、半導体製造装置チャンバー部は高真空容器であり、300mm角の厚板を円筒状に切削加工して用い、検査装置では500mm角で数万個の孔あけ加工を行って用いたりする。このため、ステンレスなどに比較して切削性が優れ、耐食性が良く、また表面処理も容易なアルミニウム合金の使用量が急増した。

2. アルミニウム合金厚板の特徴

各種アルミニウム合金厚板の特徴を比較したものを表2に示す。5052-H112合金は半導体製造装置の構造材として十分な強度及び寸法精度を有するため、国内で最も広く使用されている。

JIS5052-H112合金に対して、当社のKS5052-H112合金は、強度が高く、板厚精度・平坦度も1/2以下と優れている。また、熱間圧延条件の厳密な制御を中心として開発した「アルハイス」は、板厚精度及び平坦度が極めて優れており、表面切削を行わない素材の状態で高精度部品としての使用が可能である。「アルソラン」は、板

表1 アルミニウムと他の金属の機械的性質・物理的性質

Table 1 Mechanical and physical properties of aluminum alloy and other metal

	Specific gravity	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Elastic modulus (GPa)	Heat conductivity (W/m·°C)	Specific tensile strength (MPa)	Specific elastic modulus (GPa)	Remarks
Aluminum	2.7	300	25	70	120	111	26	ALHIGHCE 83
Stainless steel	7.9	610	55	200	20	77	25	
Copper	8.9	230	45	115	390	26	13	
Titanium	4.5	390	40	105	17	87	23	

表2 アルミニウム合金厚板の特徴比較 (20mm厚, 代表値)

Table 2 Comparison of characteristics of aluminum alloy plates (20mm thickness, typical value)

	Alloy	Trade name (Alloy code)	Tensile strength (MPa)	Specified dimensional size		Feature	
				Thickness tolerance	Flatness		
				(mm)	(mm/m)		
Non-heat-treatable	5xxx	5052	ALHIGHCE™	196	± 0.10	0.2	Super high accuracy Dispensable with surface cutting
			ALSORAN™	190	± 0.20	0.4	High accuracy Little deformation after surface cutting
			KS5052-H112	196	± 0.30	1.2	Standard products
			JIS5052-H112	175	± 0.80	7	General products
	5083	ALHIGHCE 83™	300	± 0.15	0.4	High accuracy, Highest strength in non-heat-treatable alloy, Little deformation after cutting	
Heat-treatable	2xxx	2017	2017-T3, T351	425	± 0.80	2.0	Excellent machinability Low corrosion resistance
		2024	2024-T3, T351	450	± 0.80	2.0	Same as above
	6xxx	6061	6061-T6, T651	310	± 0.80	2.0	
	7xxx	7075	7075-T6, T651	535	± 0.80	2.0	Super high strength, Excellent machinability, Softening higher than 200

*) Flatness of JIS5052-H112 : per 2m

厚精度及び平坦度が高く、かつ切削加工時の変形が極めて小さいため、表面切削や溝加工により所定形状に仕上げる場合に、加工工程の簡略化や歪み矯正の削減が可能となる。

「アルハイス 83」は、5083 合金をベースとして開発したもので、板厚精度及び平坦度が高く、後述の 6061 合金と同等強度で切削加工時の変形が小さい。

2XXX, 6XXX, 7XXX 系の熱処理合金は、非熱処理合金に比べて強度が高く、切削加工性(切屑分断性)が優れる。しかし、6061 合金は 5083 合金と同程度の強度であるが、加工時に変形しやすく、精密部品としては 5083 合金の使用が妥当と考えられる。

アルミニウム合金厚板が 200 以上の高温用途に使用されたり、部品製造工程で 200 以上の焼鈍工程が入る場合がある。6061 合金などの熱処理合金は室温付近での強度は高いが、温度を上げたときの強度低下が著しい。このような用途には、非熱処理合金、特にアルハイス 83 の適用が推奨される。

3. 切削加工性

アルミニウム合金は高速加工・高精度加工が可能であるものの、切屑の分断性が劣るため、加工材のきずや工具の破損などが生じやすい。この切屑分断性は、加工材の材質のみならず、切削加工条件の影響を大きく受ける。一例として、図 1 に直径 5mm のドリルで孔あけ加工を行ったときの切屑分断性を示す。分断性はほぼ強度に比例し、6061 合金 > 5083 合金(アルハイス 83) > 5052 合金(アルハイス)の順であるが、ドリルの回転速度を上げるか、または送り速度を下げるにより、分断性を高めることが可能となる。切削加工条件の適正化により、切屑排除が容易となる。

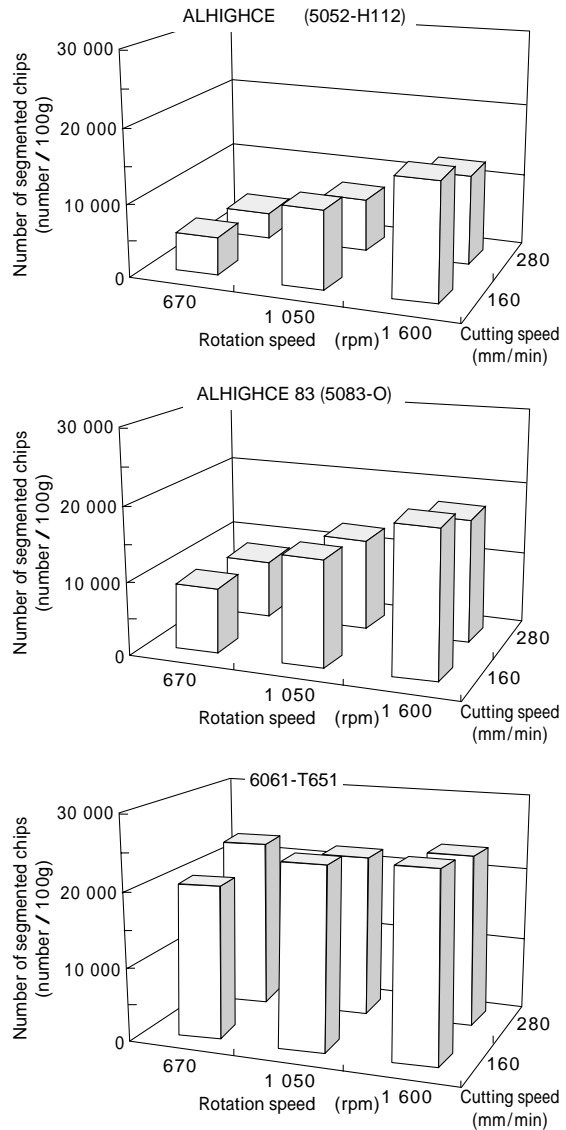


図1 アルミニウム合金厚板の切削時の切屑分断性 (5mmドリルでの孔あけ加工)

Fig.1 Chips segmentation of aluminum alloy plates in cutting (Drilling, 5mm)

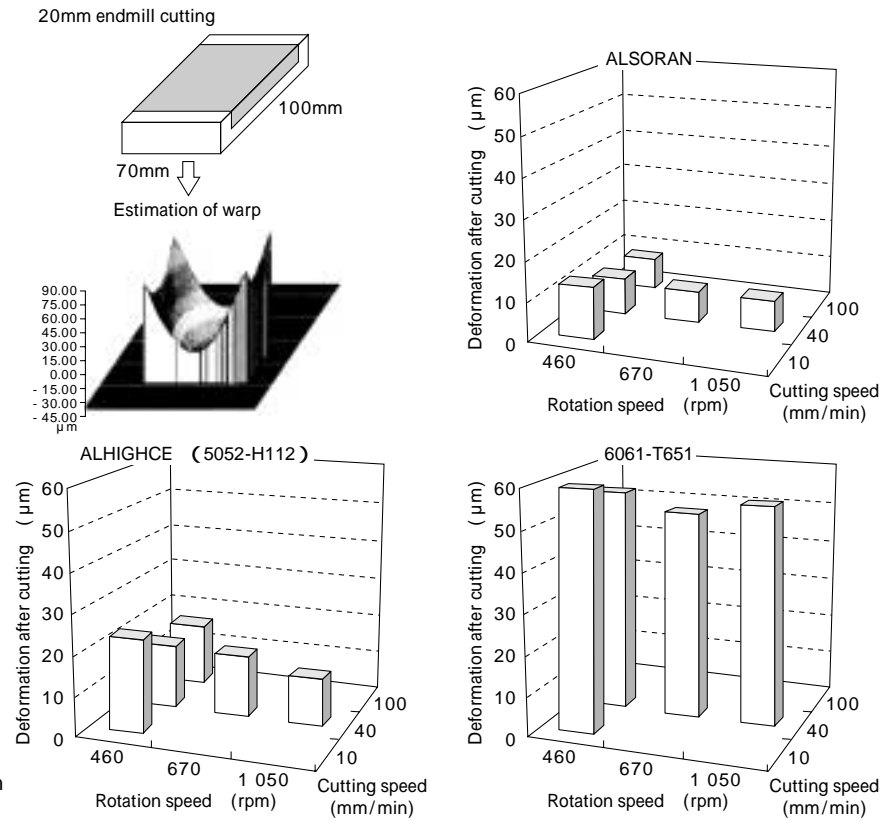


図2 アルミニウム合金厚板の切削加工歪み
Fig. 2 Deformation after cutting of aluminum alloy plates

4. 切削加工歪み

表面切削加工や溝加工時には、材料内部の残留応力の解放により加工歪み(変形)が生じる。この加工歪みは、非熱処理合金より熱処理合金のほうが大きく発生しやすい。図2に示すように、5052合金の加工歪みは、6061合金よりも著しく小さい。特に、この歪みを抑制することを狙って開発した「アルソラン」では、「アルハイス」のほぼ1/2の加工歪みであり、削り込んで部品形状とする用途に適している。また、回転速度、送り速度を上げることも歪み低減に有効である。

5. 表面処理特性

各アルミニウム合金厚板の表面処理特性を表3に示す。半導体製造装置の部材で素材のまま使用されることはほとんどなく、耐食性、耐候性を高めるために、陽極酸化処理やめっき処理が施される。

陽極酸化処理後の色調は、合金成分の影響を受けるが、それ以上に皮膜厚さの影響が大きい。5052合金厚板における皮膜厚さと色調値の関係を図3に示すように、皮膜が厚くなるに従って彩度b*値(黄色の程度を示す)は上昇し、明度L値は低下する。部材間で色調を揃える必要がある場合には、皮膜厚さの管理に十分な注意を要する。また、陽極酸化処理時のNaOH水溶液などによる前処理が不十分であると、処理後に色むらが生じる場合がある。前処理を確実に実施することが重要である。

6. ネジ強度特性

装置部品は、孔あけ加工後、ネジによる接合にて組立てられることが多い。ネジ強度(ネジ山が破壊される締

表3 アルミニウム合金厚板の耐食性・表面処理特性

Table 3 Corrosion resistance and surface treatment characteristics of aluminum alloys

Alloy	Bare plate	Anodized plate			Platability
	Corrosion resistance	Corrosion resistance	Color stainability	Appearance	
5052	A	A	A	Light yellow	B
5083	A	A	A	Light yellow	B
2017	D	B	C	Ash white	A
2024	D	B	C	Ash white	B
6061	B	A	A	Light yellow	B
7075	C	A	A	Silver white	B

* A, B, C, D are in good characteristic order.

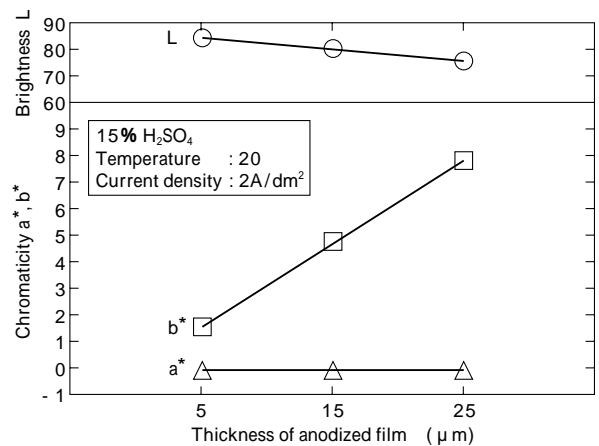


図3 5052合金厚板の陽極酸化処理後の色調に及ぼす皮膜厚の影響
Fig. 3 Effect of thickness of anodized film on color tone

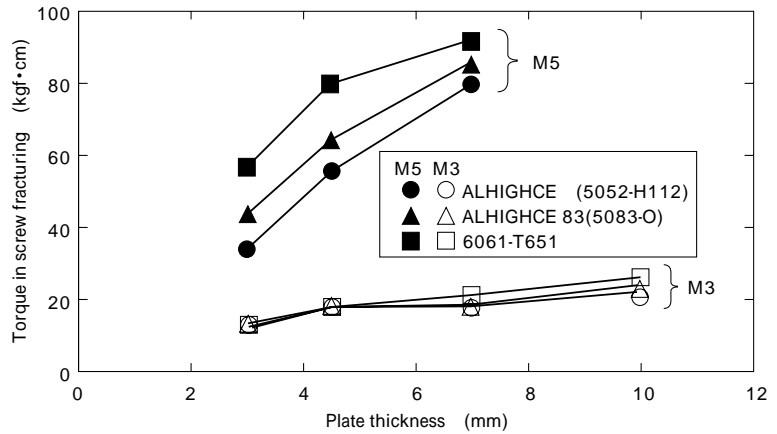


図4 アルミニウム合金厚板のネジ破壊トルク
Fig. 4 Characteristics of screw fracturing of aluminum alloy plates

表4 高精度アルミニウム合金厚板の仕様と製造範囲
Table 4 Specification and product size of aluminum alloy plates

	Thickness (mm)					Flatness (mm / m)	Product size	
	Tolerance (mm)						Thickness (mm)	Width x Length (mm x mm)
ALHIGHCE	4, 5, 6	7, 8, 10, 12	15	16,18,20,22	25, 30, 35, 40, 45, 50	0.2	4 ~ 50	1 000 x 2 000
	± 0.04	± 0.05	± 0.08	± 0.10	± 0.15			1 250 x 2 500
ALSORAN	10, 12	15	20	25, 30	35, 40	0.4	10 ~ 60	1 000 x 2 000
	± 0.10	± 0.15	± 0.20	± 0.30	± 0.40			± 0.50
ALHIGHCE 83	4, 5, 6	8, 10, 12	15	20	25, 30	0.4	4 ~ 30	1 000 x 2 000
	± 0.06	± 0.09	± 0.12	± 0.15	± 0.20			1 250 x 2 500

付けトルク)は合金により差があるため、応じた適正な締付けトルクを設定する必要がある。アルミニウム合金厚板の板厚とネジ破壊トルクの関係を図4に示す。M3ネジでは、アルハイス、アルハイス83、6061-T651のネジ破壊トルクの差はほとんどない。M5ネジでは、合金間で差が生じ、板厚が薄い場合には6061-T651 > アルハイス83 > アルハイスである。板厚が厚くなると合金間の差は小さくなり、アルハイスのネジ破壊トルクは6061-T651と同程度にまで近づく。板厚の薄い材料で径の大きなネジ接合を行う場合には、各合金に適した締付けトルクの設定が必要である。

7. 高精度アルミニウム合金厚板の仕様と製造可能範囲

最後に高精度アルミニウム合金厚板アルハイス、アルハイス83、アルソランの板厚ごとの板厚公差、平坦度並びに製造範囲を表4にまとめて示す。

むすび = 高精度アルミニウム合金厚板は、精密機器など

の部品として多用され始め、多くの問屋で在庫板として販売されている。アルハイスを筆頭に高精度板厚のため、切削は端面のみで、部品表面は当社出荷のまま精密機器類のユーザの目に触れる機会が増加した。当社厚板は『KOBELCO』ロゴ入りの樹脂フィルムにて両面保護されており、加工直前まで表面への損傷防止を図るとともに、小寸法に切断後でも高精度の当社材であることが明確にされている。

ロゴマーク入り高精度厚板は、いまや国内のみでなく東アジア・東南アジアでも多用され始め、構造部材としての一層の使用拡大が期待される。

参考文献

- 1) 例えば、日本アルミニウム協会：アルミニウムハンドブック (第6版)、(2001) p.108.