

マグネシウム合金への高機能めっき技術の開発 (第2報)

マグネシウム製フィンガーの振動解析

花房龍男, 竹保義博*1, 大川正巳*1, 坂村勝, 水成重順, 森健太郎*2

Development of functional coating process on Magnesium alloy II

Vibration analysis of the finger made of magnesium alloy

HANAFUSA Tatsuo, TAKEYASU Yoshihiro*1, OHKAWA Masami*1,
SAKAMURA Masaru, MIZUNARI Shigeyuki and MORI Kentaro*2

We investigated about the vibration characteristic of AZ31 of magnesium alloy, to be said that has good vibration absorption ability, in order to the vibration measure of a machine part. Thereby, we checked that AZ31 had a good damping characteristic compared with 5052 of aluminum alloy. We checked that rigidity was efficiently improvable that the thin board of AZ31 was plated. Moreover, we checked that rigidity and vibration characteristic was greatly improvable with a rib.

In order to tackle the vibration reduction of a semiconductor conveyance robot to convey at high speed further from now on, the result that we made the finger as an experiment and performed the evaluation, it turns out that we cannot be harnessing the vibration characteristic of Mg in the present form, since hat bending is large and vibration attenuation is also slow.

機械部品の振動対策として振動吸収性能が高いといわれている Mg 合金の内 AZ31 に着目し、その振動特性について調査した。これにより、AZ31 は Al 合金の 5052 に比べて約 1.3 倍減衰特性が優れていることを確認した。また、AZ31 の薄板にめっきを行うことで、効率的に剛性を改善できることを確認した。さらに、リブを付与することで剛性が飛躍的に向上し、振動特性を大きく改善できることを確認した。今後さらに高速化する半導体搬送ロボットの振動低減に取り組むため、Mg 製のアーム先端部品（フィンガー）の試作を行い、その評価を行った結果、現形状ではたわみが大きく振動減衰も遅いため、Mg の振動特性を活かせていないことが分かった。

キーワード：振動, マグネシウム合金, めっき, 片持ち梁, 半導体搬送装置

1. 緒言

製品の小型化や機械の位置決め高精度化に伴って、振動対策が求められるようになってきている。特に精密加工の分野や電気機器の分野では振動対策の重要度が増している。しかし、機械自体の小型化や軽量化などのため制振機構を組み込むことが難しくなっており、近年は材料自体が振動を減衰させる機能を求められている。そのため、材料の振動特性は重要な物理特性の1つとなっている。

また現在、軽量かつ環境低負荷材料としてマグネシウム合金（以下 Mg 合金）が注目されており、携帯電話やノートパソコンなどの筐体部材に一般的に利用されつつある。Mg 合金は鉄やアルミニウム合金よりも軽量であり、比強度が高いのみならず、振動吸収性能が高いなど、他の金属にない優れた特性を有している。しかし、Mg は非常に卑な金属であり表面処理を行わなければ容易に

腐食してしまう。そこで、従来から塗装が行われているが、現在では陽極酸化法やめっき法による表面処理が研究されている。

本研究では Mg 合金の内 AZ31 に着目し、その振動特性を調べた。また、Mg 合金の応用化対象として、半導体搬送用ロボットのフィンガー部品に着目した。

なお、フィンガーは 10mm 間隔で収納されたシリコンウェハー（以下ウェハー）を出し入れする際に、ウェハーを載せる部品で、片持ち梁の構造となっている。このためフィンガー自体の剛性不足によるウェハーを載せる前後で生じるたわみおよび振動、またロボット全体の振動がフィンガーに作用しウェハーの位置制御が困難になることから、今後益々高速化する搬送装置に対応するためにも振動低減・高減衰が要望されている。

2. 実験方法

半導体搬送装置の詳細は4章に後述するが、フィンガーは片持ち梁の構造により搬送装置に固定されている。そ

ここで振動特性は室温で片持ち梁法により測定した。片持ち梁法は柔らかい材料の振動特性測定が簡易であるという特徴を持つが、一方で固定部不良時の影響が大きい。そこで試験片は固定された万力を用い完全に拘束した。

たわみ、振動波形および共振周波数測定の概略を図1に示す。たわみおよび振動波形の測定位置は、変位が最も大きくなる先端位置とした。振幅およびたわみの変位量はレーザードップラ振動計(グラフテック(株)製AT3020)を用いて計測した。レーザは測定対象物の下部に置かれたミラーにより反射され、測定対象物の下面の変位量を測定する。レーザードップラ振動計からの出力はアンプを通しポータブルFFT(Fast Fourier Transform)アナライザ((株)小野測器製CF-3200)に入力した。このFFTアナライザにより振動波形および共振周波数測定を行った。また減衰比は振動波形をヒルベルト変換することで求めた。

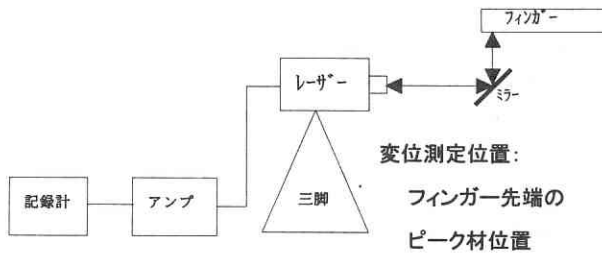


図1 振動測定の概略図

3. Mg合金の振動特性

3.1 AZ31と5052との振動特性の違い

幅22×長さ391×厚さ2(mm)のAZ31およびAl合金5052を最大振幅一定で振動させそれぞれの減衰特性を調べた。モード1の共振周波数、単位時間当たりの減衰量および減衰比を表1に示す。モード1の共振周波数はAZ31および5052ともに13Hz付近であり大きな違いは無いが、減衰比はAZ31の方が5052より約1.3倍大きく振動特性が優れていることが分かった。実際には単位時間あたりの振幅減衰量が問題となることが多い。単位時間あたりの減衰量は、

単位時間あたりの振幅減衰量 = 減衰比 × 共振周波数

で表すことが出来る。この式からMgの高い減衰比を活かした仕様にするには、高い共振周波数を持つ構造部ま

表1 AZ31と5052の振動特性の比較

	AZ31	5052
モード1共振周波数(Hz)	13.3	13.5
1secでの減衰(dB)	0.18	0.15
対数減衰率	0.014	0.011
減衰比	0.0022	0.0018

たは形状でMg材を使用することが有効であることが分かる。

3.2 片持ち梁構造における振動特性改善

3.2.1 振動特性改善の考え方

片持ち梁構造の共振周波数 f_n は式(1)の様に表すことが出来る¹⁾。この式から共振周波数は

- ・ 梁の長さ
- ・ ヤング率×断面2次モーメント(=曲げ剛性)
- ・ 密度(単位体積当りの重量)

に依存することが分かる。また、片持ち梁の場合、振動のほかにもたわみが問題になることが多く、実際に応用対象のフィンガーにおいても極力たわみを減少させる必要がある。振動およびたわみの改善で着目したパラメーターの概要を図2に示す。本研究では共振周波数およびたわみのパラメーターの中で曲げ剛性に着目した。曲げ剛性を改善すると1つのパラメーターにより振動およびたわみを同時に改善することが出来る。また、曲げ剛性の改善には図2中の対策項のパラメーターが考えられるが、板幅より板厚を改善する方が断面2次モーメントの改善効果が高いこと、単純な板厚増加では重量増加につながるため共振周波数の改善効果が低いことが予想されること、から下記の2点について振動特性および曲げ剛性を調査した。

- ① めっき(外周に高剛性材料を密着させる)による高剛性化
- ② リブの付与による重量一定での高剛性化

$$f_n = \frac{\alpha_n^2}{2\pi^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho S}} \dots (1)$$

E=ヤング率
I=断面2次モーメント
 ρ =密度
S=断面積
l=梁の長さ
 α_n =モードによる比例係数
 $\alpha_1=1.875$
 $\alpha_2=4.694$
 $\alpha_3=7.855$
⋮

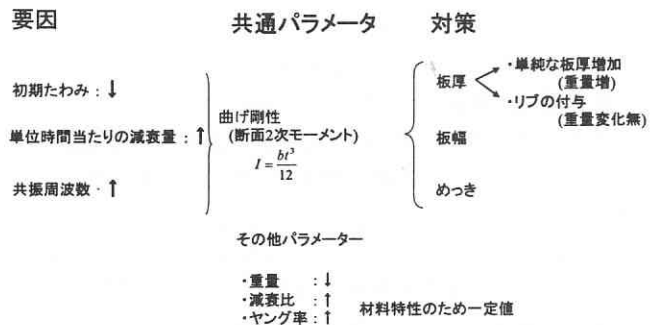


図2 振動特性改善のパラメーター

3.2.2 AZ31 へのめっきによる振動特性の変化

試験片形状板幅 5×長さ 70×厚さ 2(mm)の AZ31 に Ni5 μ m+Cu20 μ m のめっきを行った場合とめっきを行わなかった場合の振動波形を表 2 に示す。振動は最大振幅一定で付与した。めっきを行うことによりモード 1 の共振周波数が上昇しており、理論値とも良い一致を示している。共振周波数の理論値算出に際してはめっき部分と母材部分の境界が一体となっており振動の際に分離することが無いと仮定した。このことから密着力のよいめっきを行うことによって、材料の共振周波数改善を行うことが出来ると考えられる。しかし、減衰比は平均 0.0023 付近でありめっきを行った場合と行わなかった場合では顕著な違いは見られなかった。

表 2 Ni5 μ m+Cu20 μ m めっき有無と振動特性

めっき	共振周波数 (Hz)	1secでの減衰 (dB)	減衰比
有り	371 (理論値:384Hz)	5.36	0.0020~0.0026
無し	355 (理論値:364Hz)	5.13	0.0023~0.0024

3.2.3 AZ31 の絞り加工による振動特性の変化

単純な板厚増加では重量増加が予想されるため、絞り加工を行い、リブを付与することにより重量一定で断面 2 次モーメント増加を行うこととした。リブ形状は

$$\text{リブ幅/板幅} = 1/2, \text{ 絞り量/板厚} = 1.0$$

となるようにし、割れが入らないように非常にゆっくりと絞り加工を行った。リブ加工前の板厚が 0.8mm および 1.6mm の振動特性を表 3 に示す。(試験片形状:幅 25×長さ 150mm) 振動は最大振幅一定で与えた。曲げ剛性が上昇するに従って共振周波数が高くなり単位時間当たりの減衰が良くなっており、減衰特性の改善を行うことが出来た。

表 3 AZ31 の絞り加工による振動特性と曲げ剛性

絞り加工前の板厚	リブ	共振周波数 (Hz)	1secでの減衰 (dB)	減衰比	曲げ剛性 (kN \cdot mm ²)
0.8mmt	なし	21.0	0.22	0.0017	56
	有り	30.0	0.29	0.0015	115
1.6mmt	なし	38.8	0.56	0.0023	299
	有り	43.3	0.75	0.0028	395

AZ31 の曲げ剛性と単位時間当たりの振動減衰量との関係を図 3 に示す。実線はリブをつけた場合であり、破線はリブ無しで板厚のみを変化させた場合である。板厚のみを厚くすることにより曲げ剛性は上昇するが、単位時間当たりの減衰量の上昇は僅かである。これは 3.2.1 でも述べたように部材が重くなったことにより共振周波数があまり改善されなかったためと思われる。リブを付

与した場合には減衰特性がかなり改善されることが期待できる。

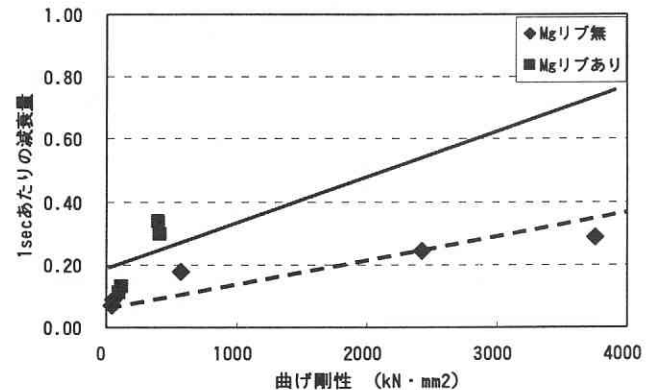


図 3 単位時間当たりの振動減衰量との関係

4. 半導体搬送装置への適用

半導体搬送用ロボットは 10mm 間隔に格納されているウェハを出し入れする。その際直接ウェハ間を出入りするのがフィンガーであり、フィンガー上にあるピーク材と呼ばれる樹脂でウェハを保持する。フィンガーは図 4 のような形状をしているが厚みは 2mm と薄板状である。フィンガーは根元部分で搬送ロボットのアーム部分に固定されており、アーム部も含め動作部全体が片持ち梁の構造となっている。このためウェハを載せる前後でのフィンガー自体の振動およびたわみ、またロボット全体の振動がウェハ制御に影響する。このことから、フィンガーには振動低減・高減衰が要求されている。現在は CFRP が使用されているが、高コスト部品となっている。そこで比重が同程度である AZ31 においてフィンガーを試作したので、その結果を報告する。

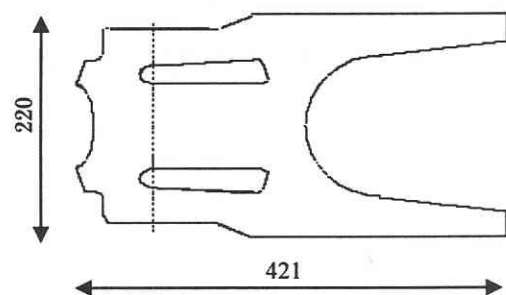


図 4 フィンガー概略図

半導体搬送装置のアーム伸びきりの状態でウェハ (130g) を積載した際のたわみ量を表 4 に示す。たわみ量は平均 2.2mm であった。このことから AZ31 製フィンガーは剛性が低く振動の原因となりうるたわみが大きいことがわかった。また、AZ31 製フィンガーの振動特性を調べた。その結果を図 5・6 に示す。上下運動時および前後運動時共に最大振幅となった後に 5~6 波長で減衰するが

表4 ウェハー(130g)を積載時のたわみ量

	計測場所	たわみ量 (mm)	平均 (mm)
Mg製 フィンガー	左	2.4	2.2
	右	2.1	

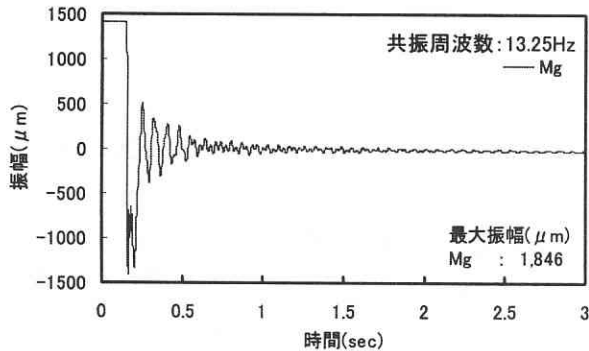


図5 前後運動後振動状態(実運転時速度)

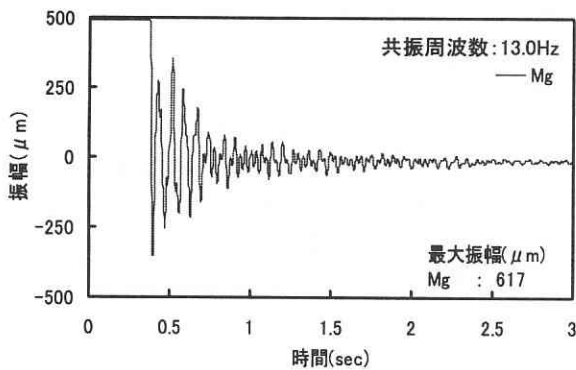


図6 上下運動後振動状態(実運転時速度)

1.0~1.5 秒かかることが分かる。また最大振幅は上下運動時に 617 μ m, 前後運動時に 1,848 μ mとなる。また共振周波数は 13Hz 付近となり低周波の共振周波数を持つことが分かった。このように共振周波数が低いために, Mg の減衰特性が活かされていないことが分かる。今後は, 重量を増加させずかつ高剛性のフィンガーの設計を行いフィンガーの改善を行っていく。

5. 結 言

片持ち梁構造での AZ31 の振動特性として以下の結果を得た。

- 1) AZ31 は Al 合金 5052 に比べて約 1.3 倍減衰特性が優れていることを確認した。しかし構造材として使用する場合, Mg の振動特性を活かすには高周波の共振周波数を持つような構造にする必要があることが分かった。
- 2) めっきに着目し振動特性の改善を行った。めっきにより共振周波数が高周波側に移行し, 振動特性を改善することが出来た。
- 3) リブに着目し振動特性の改善を行った。リブを付与することで剛性の改善とともに単位時間当たりの減衰量を大きく改善することが出来た。
- 4) AZ31 を半導体搬送装置のフィンガー部品に適用した結果, 現形状ではたわみが大きく, また Mg の振動特性を活かせていないことが分かった。今後は重量を増加させずかつ高剛性のフィンガーの設計を行う必要がある。

謝 辞

本研究を進めるにあたり, ローツェ株式会社より資料の提供を頂いた。ここに深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 山田伸志他：振動工学入門, (株)パワー社, 1984, p.101-113.