

## マグネシウム合金への高機能めっき技術の開発 (第4報)

### マグネシウム合金を用いたフィンガーの試作

花房龍男, 竹保義博<sup>\*1</sup>, 大川正巳<sup>\*1</sup>, 坂村 勝, 水成重順, 森 健太郎<sup>\*2</sup>

## Development of Functional Coating Process on Magnesium Alloy IV

### Making of finger that uses magnesium alloy for trial purposes

HANAFUSA Tatsuo, TAKEYASU Yoshihiro<sup>\*1</sup>, OHKAWA Masami<sup>\*1</sup>,  
SAKAMURA Masaru, MIZUNARI Shigeyuki and MORI Kentaro<sup>\*2</sup>

In the second report, we reported making to a high rigidity and making the finger parts a high resonance frequency to be necessary to the practical use of the finger made of Mg. In the result of FEM analysis, we understood that there was the concentrated area of stress in the arm of “U” and the fixed area of the finger. On the other hand, we understood that the stress has hardly acted in the bottom of “U”. Since the finger that strengthened the concentrated area of stress was made for trial purposes, we improved the bend and the vibration characteristic.

第2報において、Mg製フィンガーの実用化にはフィンガー部品の高剛性化および高共振周波数化が必要であることを報告した。FEM解析を行った結果、フィンガーのU字腕部およびフィンガー固定部分に応力集中部が存在することが分かった。一方で、フィンガーのU字根元部分には応力がほとんど作用していない部分があることが分かった。そこで、応力集中部を強化したフィンガーを試作し、たわみおよび振動特性を改善した。

キーワード：振動, FEM解析, 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

第2報<sup>1)</sup>で、マグネシウム合金(以下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、従来品と同一形状で素材をCFRPからMg合金に置き換えた1次試作Mg合金製フィンガーについてたわみおよび振動特性を調べた。その結果、シリコンウェハー(以下ウェハー)(重量130g)積載時のたわみ量が2.2mmであり、また振動も最大振幅後に5~6波長で減衰するものの減衰時間が長いことを報告した。また、これらの改善方法としてMg合金製フィンガーの高剛性化、Mg合金の持つ高い減衰比を活かすために共振周波数を高周波側へ移行させる必要があることを報告した。本報では、第2報での問題点の解決およびMg合金製フィンガーの実用化について検討した。

なお、フィンガーとは、10mm間隔で収納されたウェハーを出し入れする際にウェハーを載せる部品である。フィンガーは片持ち梁の構造となっており、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、振動低減・高減衰が望まれている。また、近年ますます価格競争が激しくなっている。しかし、現状のフィンガーには全てCFRPで作製されたフィンガーが用いられている。CFRPは高価格材料であるため、フィンガーは高コスト部品となっている。そこで、同等性能での低コスト化が望まれている。

## 2. 実験方法

### 2.1 振動特性およびたわみの測定方法

たわみ、振動波形および共振周波数測定は前報<sup>1)</sup>と同様にレーザードップラ振動計(グラフテック(株)製AT3020)およびポータブルFFT(Fast Fourier Transform)アナライザ((株)小野測器製CF-3200)を用いて測定した。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。

### 2.2 FEM解析の解析条件

生産技術アカデミーの所有する3次元CADであるI-DEASによりFEM解析を行った。解析条件はシェル要素の線形等方性弾性材料として計算した。荷重条件はウェハーを支えるピック位置で等分布荷重(総荷重130g)とな

平成16年度中小企業技術開発産学官連携促進事業

2005.6.30 受理 材料技術部

\*1 応用加工技術部

\*2 客員研究員(現:(有)山口TLO)

るようにし、またフィンガー固定部を完全拘束とした。解析に用いた Mg 合金の材料物性値を表 1 に示す。

### 3. Mg 合金製フィンガーの FEM 解析結果

フィンガーの高剛性化の調査およびコスト削減の可能性調査のため、第 2 報で試作した 1 次試作 Mg 合金製フィンガーの FEM 解析を行った。板厚は 2mm で均一とした。FEM 解析による応力分布の結果を図 1 に示す。図 1 からフィンガーの U 字腕部およびフィンガー固定部分に応力集中部が存在することが分かった。一方で、フィンガーの中心部の U 字根元部分には応力がほとんど作用していない部分がある。この応力が作用していない部分の形状変更を行うことで、軽量化および材料コストの削減が可能と考える。なお、解析上での最大たわみ量は 1.71mm（先端位置）であり、実機で測定したたわみ量と良い一致を示していた。

フィンガーの形状制約条件は、SEMI による 300mm 搬送モジュール・エンドエフェクタ・排除領域（SEMI E22.1-1296）に記載されている。また、ウェハーの収納機器等周辺機器の形状にも関係する。以上のことを考慮したフィンガー形状の最大エリアを図 2 に示す。斜線部分がフィンガーの最大エリアである。フィンガー根元付近に厚みを厚くでき、幅を広くすることができる箇所が存在する。そこで変更可能な根元部分の板厚を 2mm から 3mm にすることとした。また、フィンガーの U 字腕部では幅を広くすることができない。そこで、高剛性化のために、U 字腕部を含むフィンガー側面全体に CFRP を使用することとした。

最終試作を行う前に FEM により検証を行った結果を図 3 に示す。フィンガー側面の R の小さい部分に応力集中部が存在するが、Mg 合金部分に応力集中部は無く低応力が均一に作用していることが分かる。また、解析によるたわみ量は 0.54mm となり、解析上で約 1/3 に改善することが出来た。

以上のことを考慮し試作した最適設計 Mg 合金製フィンガーを図 4 に示す。なお、応力の作用しない U 字根元付近を簡素化している。また、Mg 合金は耐食性が悪いため、環境中に放置するだけでも腐食する。そのため、Mg 合金が腐食しないよう、前報<sup>2)</sup>で開発した多層めっき（10 μmNi + 15 μmCu）を共同研究先の柿原工業（株）で行った。

表 1 Mg 合金の材料物性値

材料条件	線形等方性弾性材料
ヤング率	$4.5 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
ポアソン比	0.35
密度	$1.78 \text{ g/cm}^3$

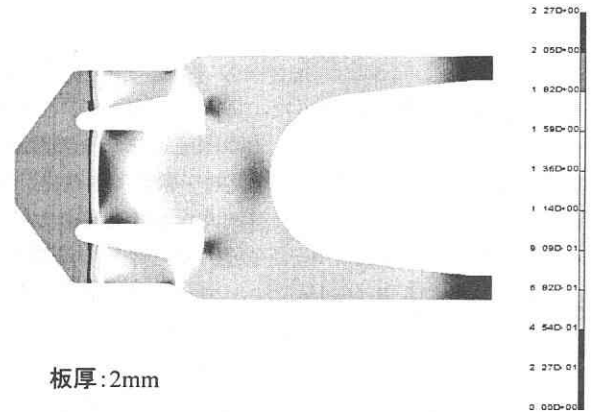


図 1 FEM解析によるウェハー積載時の1次試作Mg合金製フィンガーの応力分布

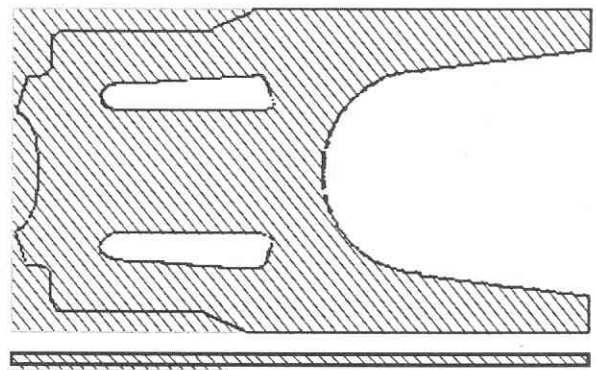


図 2 フィンガー形状の最大エリア

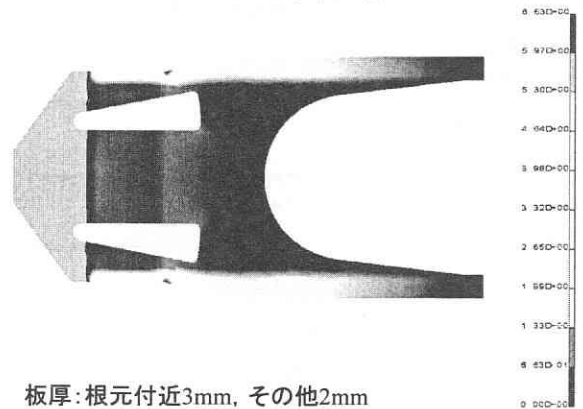


図 3 FEM解析によるウェハー積載時の最適設計Mg合金製フィンガーの応力分布

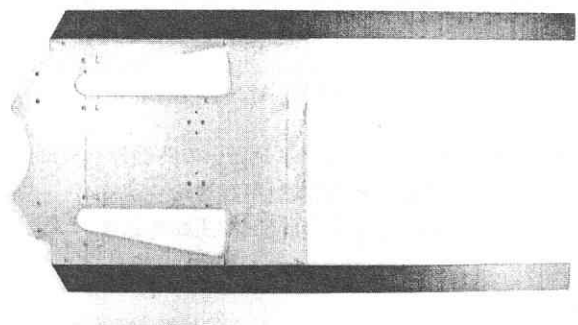


図 4 最適設計の Mg 合金製試作フィンガー

#### 4. 試作フィンガーの性能評価

実機において最適設計 Mg 合金製フィンガーの振動および最大たわみの測定を行った。アームを上下および前後に動作させたときの、アーム先端部分における振動波形の結果を図5に示す。参考として同一機にて1次試作 Mg 合金製フィンガーを測定した振動波形を重ね合わせてある。この結果、最適設計 Mg 合金製フィンガーの振動減衰時間は、1次試作 Mg 合金製フィンガーと比べて大幅に改善されていることが分かる。最適設計 Mg 合金製フィンガーの実機での性能をまとめたものを表2に示す。共振周波数は Mg 合金製フィンガーが 18.5Hz のところ最適設計 Mg 合金製フィンガーが 47.0Hz であり、最大たわみは Mg 合金製フィンガーが 2.2mm のところ最適設計 Mg 合金製フィンガーが 0.93mm となり大幅に改善された。また、フィンガーの総重量は 1次試作 Mg 合金製フィンガーが 176g のところ最適設計 Mg 合金製フィンガーが 193g であり、ほとんど変化していない。また、応力が集中する所に CFRP を用い、応力の集中しない所に Mg 合金を用いることで、高価格材料の CFRP 使用量を少なくし、同等性能でコスト低減（加工費等を含めて約 30%コストダウン）を達成した。なお、本研究で得られた試作品のたわみ量および振動特性は CFRP 製品と比較してほぼ同等であった。

表2 最適設計 Mg 合金製フィンガーの実機での性能

	1次試作 Mg合金製フィンガー	最適設計 Mg合金製フィンガー
たわみ量(mm)	2.2	0.93
モード1 共振周波数(Hz)	18.5	47.0
重量(g)	176	193

#### 5. 結 言

本研究により以下の結果を得た。

- 1) FEM 解析を行った結果、フィンガーの U 字腕部およびフィンガー固定部分に応力集中部が存在することが分かった。一方で、フィンガーの U 字根元部分には応力がほとんど作用していない部分があることが分かった。
- 2) 応力集中部を強化したフィンガーを試作し振動特性およびたわみを測定した結果、たわみが 0.93mm となり、振動特性も大幅に改善できた。
- 3) 従来品と同等の性能であり、高価格材料である CFRP を用いる量を減少したことから、コストダウンさせることが出来た。

#### 謝 辞

本研究を進めるにあたり、ローツェ株式会社には資料の提供および実機での試験をさせて頂いた。また、広島県立西部工業技術センター生産技術アカデミーには FEM 解析の協力を頂いた。また、柿原工業株式会社にはフィンガーへのめっきを行って頂いた。関係者の皆様に深く感謝の意を表します。

#### 文 献

- 1) 花房龍男ほか 5 名:広島県東部工業技術センター研究報告, 17, 37-40 (2004).
- 2) 水成重順ほか 5 名:広島県東部工業技術センター研究報告, 17, 33-36 (2004).

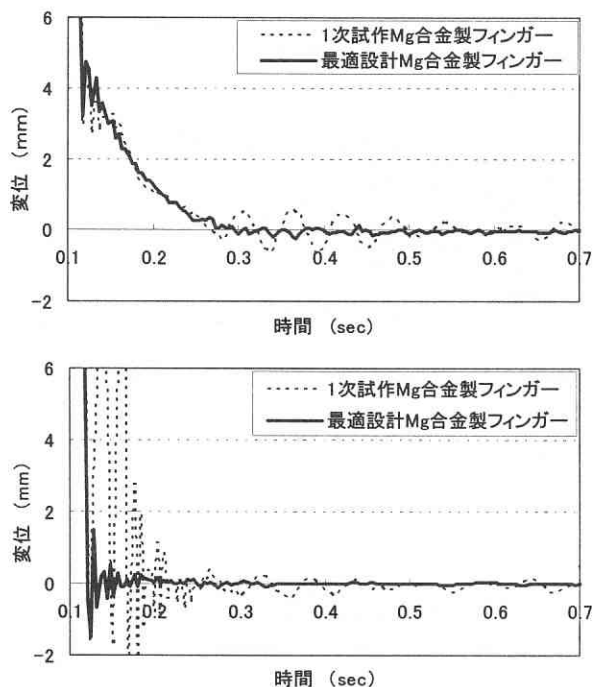


図5 最適設計 Mg 合金製フィンガーの実機振動波形  
上：上下運動後振動状態(実運転時速度)  
下：前後運動後振動状態(実運転時速度)