

ステージ軽量化技術開発

○森山司朗 A、佐々木俊一 A、廣瀬正孝 A、小阪光二 B、岩渕哲也 B、
石井 守 C、梅津基宏 C、東町高雄 D、久保田弘 E、大見忠弘 F
株式会社日本セラテック A、有限会社熊本テクノロジー B、
太平洋セメント株式会社 C、くまもとテクノ産業財団 D、
熊本大学 E、東北大学 F

1. はじめに

半導体の微細化が進むに従い、ステージに対して極めて高い精度が要求されている。この要求に対応するため、我々は、12 インチ対応の超精密高速XYステージシステムの研究開発を進めている。超精密高速ステージシステムの開発目標は以下の通りである。

- ・軸構成 X-Y 2 軸
- ・有効駆動範囲 300mm×300mm
- ・最高速度 300mm/sec 以上
- ・加速度 0.5G 以上
- ・位置決め精度 10nm 以下

この開発目標を達成するために、H14 年度アルミナセラミックステージを試作し、最高速度 140mm/sec、加速度 0.22G、位置決め精度±0.69nm を得た。

さらに、この精度を維持した状態で最高速度 300mm/sec 以上に引き上げるためには、非共振型超音波モータ (NRUSM: Non-Resonance type UltraSonic Motor) の改良とともに、セラミックステージの軽量化が必須である。

そこで、H15 年度は、ステージ材料をアルミナからゼロ膨張セラミック「ZPF」に、ステージ構造を無垢構造から中空構造(リブ構造)にすることにより、高いステージ姿勢を維持したまま、ステージ重量をアルミナステージ重量の 1/2 に軽量化した(図 1 参照)。

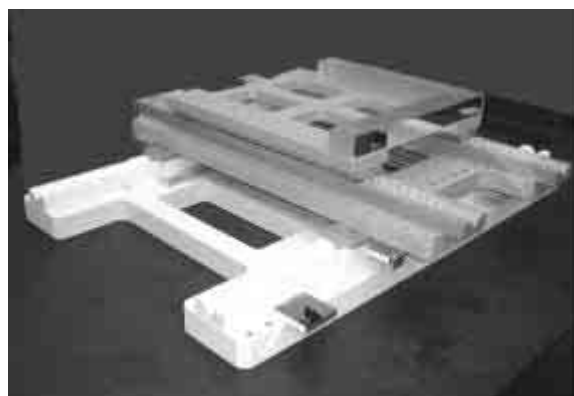


図 1 軽量ステージ (ZPF 化+リブ構造化)

さらに、H16 年度は、ステージ重量を 1/3 とするために、ハニカム構造によるステージ軽量化技術の開発を進めたので報告する。

2. ステージ軽量化技術の開発

ステージ軽量化技術の開発は、ステージ材料および構造の面から進めている。

ステージ材料は、比重 4.0 のアルミナから、太平洋セメント株式会社と共同開発した比重 2.5 のゼロ膨張セラミック「ZPF」を適用した。ZPF を適用することにより、軽量化のみならず、室温付近の熱膨張係数が $0.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ となることから高精度化も期待できる。

ゼロ膨張セラミック「ZPF®(Zero thermal expansion Pore Free ceramics)」

マイナス膨張材料とプラス膨張(高剛性)

材料を複合化することにより、室温(23℃)における熱膨張係数が $0.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であり、従来のゼロ膨張ガラスセラミックスと比較して高いヤング率を有するポアフリー材料である。また、磁性に

ついても、Ti 金属と同等程度の低い比透磁率 (1.0000) を有する。さらに、無機接合剤による接合(ZPF 接合)も可能である。

表 1 ゼロ膨張セラミックス「ZPF」の特性

	単位	ゼロ膨張セラミックス「ZPF」	ゼロ膨張ガラス
比重		2.5	2.5
ヤング率	GPa	150	90
熱膨張係数	$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ at23	0.0	0.0
熱伝導率	W/K・m	5	2
比熱	J/g・K	1	1
ビッカース硬度	GPa	7	7
4点曲げ強度	MPa	250	50
破壊靱性	MPa・m	3.0	0.8
体積抵抗率	Ω・cm	10^{+12}	10^{+13}
比透磁率		1.0000	

ステージ構造としては、図 2 に示す様に H15 年度開発したリブ構造の壁(リブ)厚さをさらに薄肉化するために、ハニカム構造の導入を進めた。

表 2 および図 3 にセラミックスステージ構成を示す。ZPF 化および中空構造化(ハニカム構造化)により、アルミナステージと比べて、

ステージ重量を 1/3(100kg から 32kg)に軽量化する。具体的にはステージ A、ステージ B、ベースを ZPF 化およびハニカム構造化する。また、ガイドレールも軽量で耐磨耗性に優れた Si_3N_4 系のポアフリー材料(SHPF：比重 3.4)とする。

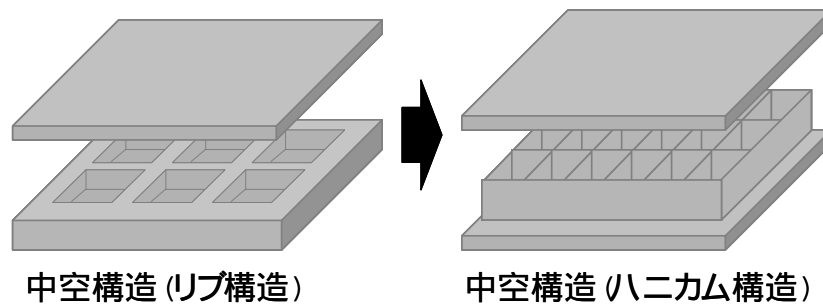


図 2 ステージ軽量化技術(ハニカム構造化)

表 2 セラミックスステージ構成

	H16年度(ハニカム構造体)		H15年度(リブ構造体)		H14年度	
	材質	重量(kg)	材質	重量(kg)	材質	重量(kg)
ステージA (可動)	ZPF(ハニカム)	3.4	ZPF	5.3	Al_2O_3	10.2
ステージB (可動)	ZPF(ハニカム)	6.5	ZPF(リブ)	10.9	Al_2O_3	25.8
ベース (固定)	ZPF(ハニカム)	9.1	Al_2O_3	44.6	Al_2O_3	44.6
レールA (可動)	SLPF	4.6	SLPF	4.6	Al_2O_3	7.1
レールA (固定)	SLPF	4.6	Al_2O_3	7.1	Al_2O_3	7.1
レールB (可動)	SLPF	3.2	SLPF	3.2	Al_2O_3	5.0
総重量		31.4(32%)		75.7		99.8
可動パーツ総重量		17.7(37%)		24.0(50%)		48.1

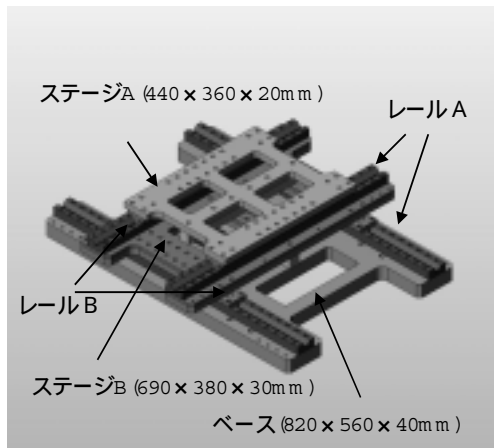


図3 セラミックステージ構成

3. ハニカム構造体の設計

ステージ総重量を 1/3 にするためには、ステージ部品重量(ベース)を最大 1/5 に軽量化しなければならない。その時、ハニカムに要求される空隙率は 88%となる。

さらに、軽量化とともに、ステージ剛性の低下は極力抑えなければならないことから、FEM 解析によりハニカム形状の最適化、ステージ剛性に対する軽量化の影響を調べた。

(1) ハニカム形状の最適化

ハニカム形状の最適化では、各ハニカム形状のハニカム構造体の共振周波数を FEM 解析

により求めた。ハニカムの形状としては、正方形、六角形、三角形を選定し、ハニカム空隙率は 88%、ハニカム厚さは ZPF 押出成形で実績のある 0.9mm とした。また、解析は、ステージサイズ(ステージ A : 440×360×20mm)で行い、また、要素数が増えることから 2次元モデルの解析とした(図3参照)。

その結果、共振モードとしては各モデルとも X 軸ねじれ振動(ガイドレールに垂直方向の軸のねじれ振動)が低次で発生し、その中で四角形ハニカムが最も高い共振周波数を示し、高い剛性を有していることが明らかになった。

さらに、ハニカム配置(向き)についても解析を行った結果、表3に示した様に四角形ハニカムをガイドレールに平行に配置することにより、高い共振周波数(剛性)が得られた。

これは、四角形ハニカムは、他のハニカム形状に比べ1セルの面積が小さく、また、X軸ねじれ振動に対してガイドレールに垂直なハニカムの割合が多いため、高い剛性を示した

表3 ハニカム形状の最適化

ハニカム形状	四角形	三角形	六角形
↑ ガイドレール方向			
空隙率 (%)	88	88	88
ハニカム厚さ (mm)	0.9	0.9	0.9
1辺の長さ (mm)	13.0	22.5	7.5
1セルの面積 (mm ²)	169	219	194
共振周波数 (Hz)	492	482	466

(2) ステージ剛性に対する軽量化の影響

さらに、ハニカム構造化が、ステージ剛性に与える影響を FEM 解析により求めた。

① アルミナステージ、ZPF 無垢ステージ、ZPF ハニカム構造ステージの共振周波数を求めた。解析はステージサイズ(ステージ A : 440 × 360 × 20mm)で行い、3次元モデルにより解析した。

表 4 に各ステージの共振周波数を示す。ハニカム構造化による共振周波数(剛性)の低下は、アルミナステージの共振周波数の 6%程度と小さいものであった。

表 4 ステージの共振周波数

	共振周波数 (Hz)
ZPFハニカム構造	690
ZPF無垢構造	756
アルミナ無垢構造	735

(表 3 と表 4 の ZPF ハニカム構造体共振周波数の差は、解析モデルが異なることによる。表 3 : 2次元モデル、表 4 : 3次元モデル)

② アルミナステージ、ZPF リブ構造ステージ、ZPF ハニカム構造ステージ組立後のステージ A の自重たわみを求めた。解析は、接触を考慮した 3次元モデルにより行った。

表 5 に各ステージの自重たわみを示す。ハニカム構造化によりアルミナステージより自重たわみは大幅に減少した。

表 5 ステージの自重たわみ (μm)

	ステージAが中央位置にある場合	ステージAが端に移動した場合
ZPFハニカム構造	0.22	0.22
ZPFリブ構造	0.39	0.42
アルミナ無垢構造	0.32	0.35

4. ハニカム構造ステージの作製

ハニカム構造化による軽量化が、ステージ剛性への影響が少ないことから、ハニカム構造ス

テージ(ステージ A : 440 × 360 × 20mm)の作製を行った。

ハニカム構造ステージの作製方法としては、ZPF 粉末と有機バインダーから成る坯土を作製し、押出成形により 5 × 5 セルの四角形ハニカムを成形した後 (図 4 参照)、焼成してハニカム焼結体(空隙率 : 88%、ハニカム厚さ : 0.9mm、セルサイズ : 14mm)を作製した。尚、ハニカム焼結体は、密度 2.50g/cm³と緻密化していた。



図 4 ハニカム(5 × 5セル)の成形

次に、接合剤を印刷した下板にハニカム焼結体を配置した後、還元雰囲気中で熱処理を行い ZPF 接合を行った (図 5 (a)参照)。さらに、上板を接合して、ハニカム構造ステージを作製した (図 5 (b)参照)。

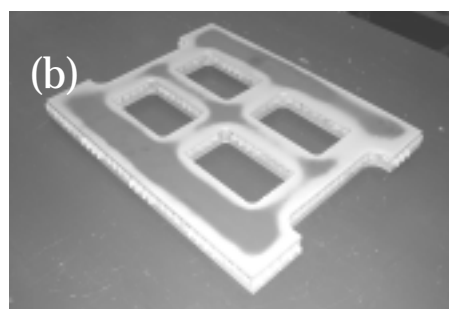
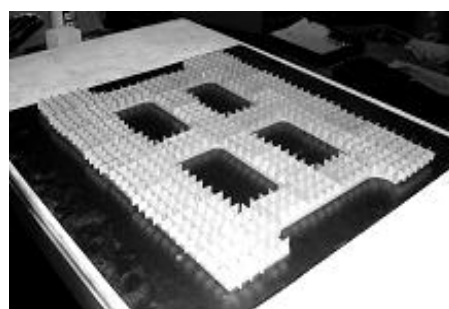


図 5 ハニカム構造ステージ

尚、上下板とハニカムの接合部分は、図6に示すように接合剤が表面張力によりハニカム側面に這い上がったメニスカス構造を形成しており、密閉構造となっていた*。

* 中空構造内外の圧力差を生じさせないため、リブ構造体には空気穴を形成したが、ハニカム構造体については、ハニカム内部の洗浄に問題があることから、空気穴を形成せず、密閉構造とした。

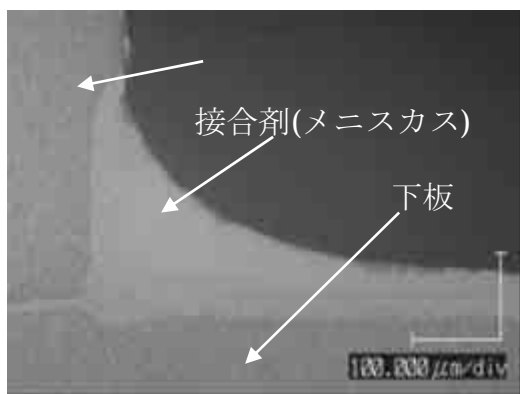


図6 ハニカム接合部分（メニスカス構造）

5. まとめ

超精密高速ステージ開発のためステージの軽量化を行った。

ステージ材料にゼロ膨張セラミックス「ZPF」を使用し、ステージ構造をハニカム構造による中空構造とすることにより、ステージ剛性を大きく低下させずに、ステージ重量をアルミナ無垢ステージの1/3に軽量化できる可能性が得られた。

今後は、このステージ軽量化技術を用いて、ステージ重量1/3の軽量ステージの作製を進めてゆく。

以上