

技術紹介

7

精密位置決めステージ用チルト機構の開発

The development of Tilt Mechanism for Precision Positioning Stage

下村 文亮

Fumiaki Shimomura

航機事業部 第二技術部

伊藤 健一

Kenichi Ito

航機事業部 第二技術部 シニアエキスパート

キーワード: チルト、位置決め、半導体、ウエハ、顕微鏡、レーザ加工、微細加工

Keywords: Tilt, Positioning, Semiconductor, Wafer, Microscope, Laser processing, Microfabrication

要 旨

半導体の製造プロセスにおいては、微細化の進行に伴い、加工工程における精密な位置決めが求められており、単軸や複数軸の移動、傾斜が可能な精密位置決めステージが製品化されています。

当社では長年、半導体製造装置向けに、ステージ駆動、搬送、制振用といったさまざまなリニアモータを提供しており、精密位置決めステージ用にも使用されております。

リニアモータ(アクチュエータ)を動かし制御するという保有技術の展開として、このたび、同じ半導体製造プロセスをメインターゲットとして、ステージを2軸に任意に傾斜させることができるチルトステージを開発しました。

現在、協業先にて制御部を構築中のためシステムとしての評価が完了しておりませんが、本稿では、ここまでの開発状況について紹介します。

SUMMARY

In semiconductor manufacturing processes, as miniaturization progresses, precise positioning during processing steps is required. Precision positioning stages capable of single-axis or multi-axis movement and tilting have been commercialized.

For many years, our company has provided various linear motors for semiconductor manufacturing equipment, including stage drives, transport systems, and vibration damping applications. These motors are also used in precision positioning stages.

Building on our proprietary technology for driving and controlling linear motors (actuators), we have now developed a tilt stage capable of arbitrarily tilting a stage along two axes, primarily targeting the same semiconductor manufacturing processes.

Currently, the control unit is under construction at our partner company, so the system evaluation has not been completed. However, this paper introduces the development status to date.

1. はじめに

半導体製造プロセスのうち、ウエハやチップ等の検査工程や、レーザによる微細加工工程においては、供試体のわずかな反りや歪みにより欠陥観察における焦点合わせに時間を要しております。

例えば、光学顕微鏡によるチップの欠陥観察において、四隅の1箇所には焦点を合わせて観察するような場合、チップに反りや歪みがあると、他の3箇所は焦点が合わず各観察点で焦点合わせが必要になるため、これらの補正による作業効率の改善が必要とされています。

また、昨今開発が盛んになっている半導体の三次元化パッケージ技術において、ウエハに対して垂直で微細な穴をレーザで開ける場合、対象物に反りや歪みがあると垂直な穴が加工できないため、同様に補正による超精密なレーザ加工が求められています。

これら反りや歪みの補正手段は幾つかありますが、その一つにステージにチルト機構を設ける対策が考えられます。製品化されているチルトステージの多くは、Z軸の移動量が大きくなると、それに反比例してチルト可能な角度は減少しますが、このたび、Z軸駆動範囲内のどこでも同じ角度のチルトが可能なチルトステージ（図1）を開発しましたので、その概要と特長をご紹介します。

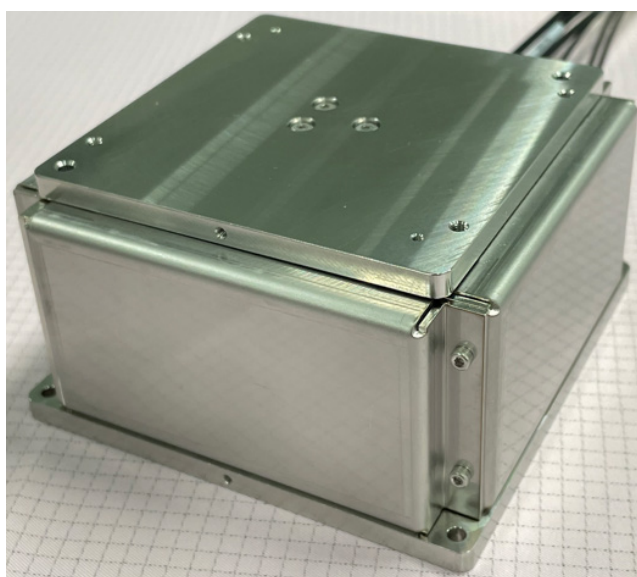


図1 JAE チルトステージ外観

2. チルトステージの構成

今回開発したチルトステージは、半導体チップの検査工程で使用することを目的に開発しました。顕微鏡で欠陥観察をする際、チップの反りや歪みをチルトステージで補正して理想水平を作って観察することにより、これまで観察点毎に行っていた焦点合わせの時間を削減することを目的としています。

当社協業先であるオオクマ電子株式会社（以下、オオクマ電子（株））が開発、製造している光学顕微鏡に載せて使用するため、ステージ本体と、内蔵するアクチュエータ及びセンサのコントローラは当社が担当し、オオクマ電子（株）がチルトステージの制御部を構築して光学顕微鏡と合わせたシステムにしています（図2）。

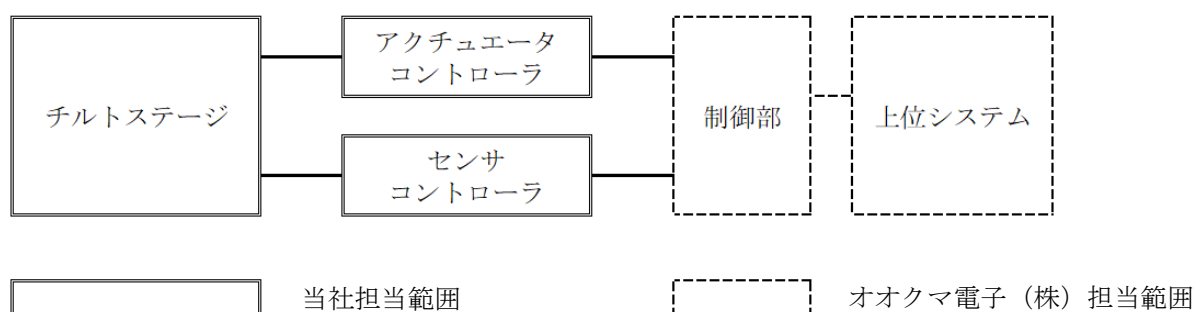


図2 チルトステージシステム構成

3. チルトステージの仕様

3.1 概要

製品化されているチルト機構を有するステージの多くは以下のような可動軸に分類されます。

- ・ X、Y 軸いずれかの単軸チルト駆動
- ・ X、Y 軸の 2 軸チルト駆動 ($\theta X + \theta Y$)
- ・ X、Y 軸の 2 軸チルト駆動 ($\theta X + \theta Y$) + Z 軸回転 (θZ)
- ・ X、Y 軸の 2 軸チルト駆動 ($\theta X + \theta Y$) + 垂直上向き Z 軸駆動 (+Z)

この中で、4 番目の Z 軸駆動が可能なタイプについては、Z の移動量によりチルト可能な角度が変動 (Z 軸移動量が大きくなると、それに反比例してチルト可能な角度は減少) しますが、当社が開発したチルトステージは以下の特長を有しています。

<特長>

- ・ θX 、 θY 、+Z 方向に加え、-Z 方向にも駆動可能
- ・ Z 軸駆動範囲内のどこでも同じ角度のチルトが可能 (チルト可能な角度の減少なし)

3.2 仕様

チルトステージの仕様を表 1、外観図を図 3 に示します。

3.2.1 可動軸

一般的なチルトステージの仕様である、 θX 、 θY の 2 軸チルトに加え、Z 軸の上下動が可能で、どの位置でもチルト姿勢を保持できる仕様としました。

3.2.2 寸法

今回開発したものは、2 項で述べましたように半導体チップの欠陥観察用としてオオクマ電子 (株) 製の光学顕微鏡に実装して使用するため、当該顕微鏡のステージに搭載可能なサイズとして、100 mm × 100 mm としました。

3.2.3 移動量

Z 軸の移動量につきましては、駆動するアクチュエータと、ステージを保持するばねの仕様のバランスを調整することで、Z が可動範囲内のどの位置であっても仕様であるチルト角 $\pm 0.088^\circ$ を達成可能な移動量として、Z 軸の移動量は $\pm 50 \mu\text{m}$ としました。チルトさせずに Z 軸だけの移動量にしますと、最大で $\pm 200 \mu\text{m}$ の移動が可能です。また、最大傾斜が可能な Z 軸中央においては、 $\pm 0.29^\circ$ のチルトが可能です。

3.2.4 分解能、繰り返し位置決め精度

システムとしての分解能、精度は、制御部を構築するオオクマ電子（株）の設定としています。

3.2.5 耐荷重

顧客要求である 1 kg としました。

3.2.6 駆動方式

ナノメートル台の位置決めが可能な、分解能 1 nm のピエゾアクチュエータを採用しており、電源オフ時の姿勢保持も可能です。

3.2.7 センサ

ステージの変位量を計測するため、分解能 40 nm の静電容量式変位センサを内蔵しています。

表 1 JAE チルトステージ仕様

項目		JAE チルトステージ
可動軸		θX 、 θY 、Z
外形・質量	寸法	100 mm × 100 mm × 56.7 mm
	質量	1.7 kg
移動量	Z	$\pm 50 \mu\text{m}$ ($\theta X = \theta Y = \pm 0.1^\circ$ のとき) $\pm 200 \mu\text{m}$ ($\theta X = \theta Y = 0$ のとき)
	θX 、 θY	$\pm 0.088^\circ$ (Z 移動範囲内全域)
分解能	Z	(オオクマ電子（株）製作の制御部に依存)
	θX 、 θY	(オオクマ電子（株）製作の制御部に依存)
繰り返し位置決め精度	Z	(オオクマ電子（株）製作の制御部に依存)
	θX 、 θY	(オオクマ電子（株）製作の制御部に依存)
耐荷重		1 kg
駆動方式		ピエゾ
内蔵変位センサ		静電容量式
センサ分解能		40 nm
本体材質		ステンレス

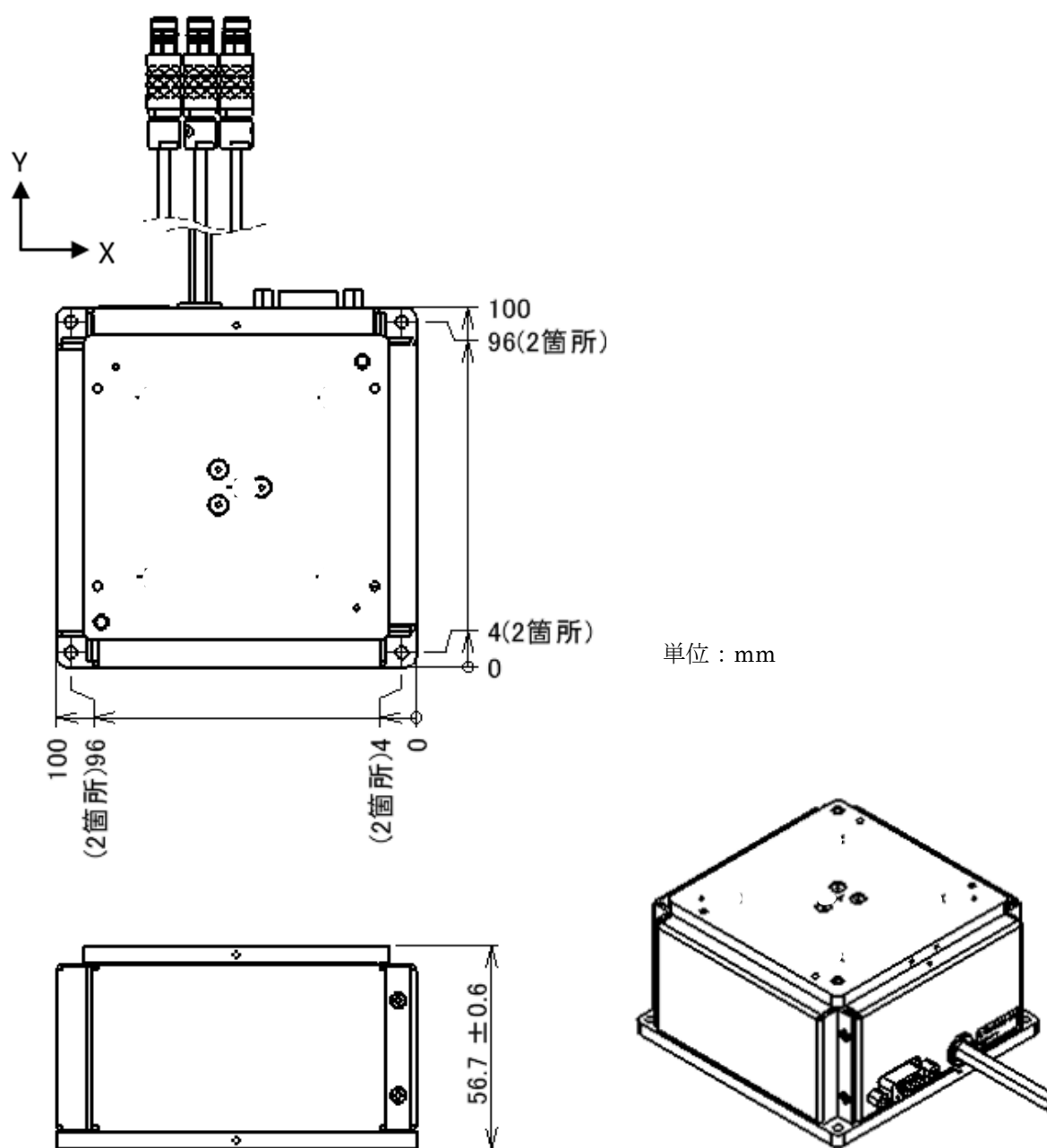


図3 外観図

4. チルトステージの評価結果

現在のところ、オオクマ電子（株）にて上位システムを含めチルトステージの制御部を製作中であり、繰り返し位置決め精度他、システムで評価する項目が未完了のため、移動量についての評価結果を記します。

4.1 移動量：Z

Z 軸を仕様の $\pm 50\ \mu\text{m}$ 移動させたときの測定結果を表 2 に示します。負荷 1 kg、速度 $25\ \mu\text{m/s}$ で、最大移動量として $50\ \mu\text{m}$ の上昇、下降を 5 回繰り返したときの実際の移動量は、誤差 0.4% 以下でした。

表 2 Z 移動量測定結果

測定回数	Z 移動量 [μm]	実測値 [μm]	誤差量 [μm]	誤差 [%]
1 回目	50.0	50.09	0.09	0.18
	-50.0	-50.04	-0.04	0.08
2 回目	50.0	50.03	0.03	0.06
	-50.0	-50.07	-0.07	0.14
3 回目	50.0	49.93	-0.07	-0.14
	-50.0	-50.11	-0.11	0.22
4 回目	50.0	50.06	0.06	0.12
	-50.0	-50.03	-0.03	0.06
5 回目	50.0	50.08	0.08	0.16
	-50.0	-50.20	-0.20	0.40

4.2 移動量： θX 、 θY

仕様の $\pm 0.088^\circ$ 傾斜させたときの測定結果を表 3 に示します。負荷 1 kg、速度 $25\ \mu\text{m/s}$ で傾斜させたときの誤差は 2.0% 以下でした。

最大傾斜が可能な $Z=0\ \mu\text{m}$ の位置における限界性能は $\pm 0.29^\circ$ (表 4)、傾斜可能な角度が最小となる $Z=-50\ \mu\text{m}$ の位置における限界性能は $\pm 0.22^\circ$ (表 5) でした。

表 3 チルト角 θX 、 θY 測定結果

角度設定値 [°]		実測値 [°]		誤差量 [°]		誤差 [%]	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0.088	0	0.08713	0.00058	-0.00087	0.00058	-0.99	0.58
-0.088	0	-0.08827	-0.00037	-0.00027	-0.00037	-0.30	-0.37
0	0.088	-0.00083	0.08760	-0.00083	-0.00040	-0.83	-0.45
0	-0.088	-0.00020	-0.08789	-0.00020	-0.00011	-0.20	-0.13
0.088	0.088	0.08647	0.08815	-0.00153	0.00015	-1.74	0.17
0.088	-0.088	0.08715	-0.08727	-0.00085	-0.00073	-0.97	-0.82
-0.088	0.088	-0.08973	0.08714	0.00173	-0.00086	1.96	-0.98
-0.088	-0.088	-0.08794	-0.08815	-0.00006	0.00015	-0.07	0.17

表 4 チルト角 θX 、 θY 限界性能 ($Z=0\ \mu\text{m}$)

角度設定値 [°]		実測値 [°]		誤差量 [°]		誤差 [%]	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0.2966	0	0.29462	0.00229	-0.00198	0.00229	-0.67	0.77
-0.2966	0	-0.29690	-0.00116	0.00030	-0.00116	0.10	-0.39
0	0.2966	-0.00336	0.29637	-0.00336	-0.00023	-1.13	-0.08
0	-0.2966	0.00080	-0.29652	0.00080	-0.00008	0.27	-0.03

表 5 チルト角 θX 、 θY 限界性能 ($Z=-50\ \mu\text{m}$)

角度設定値 [°]		実測値 [°]		誤差量 [°]		誤差 [%]	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0.2292	0	0.22746	0.0014	-0.00174	0.00140	-0.76	0.61
-0.2292	0	-0.22962	-0.00154	0.00042	-0.00154	0.18	-0.67
0	0.2292	-0.00283	0.22889	-0.00283	-0.00031	-1.24	-0.14
0	-0.2292	0.00026	-0.22919	0.00026	-0.00001	0.11	-0.01

5. まとめと今後の展望

本報で開発したチルトステージは、システムとしての完成、評価が未完了ですが、それ以外の項目につきましては仕様を達成していることを確認できました。今後実施するシステム評価結果を反映して製品としての完成度を上げると共に、今回の開発品はオオクマ電子（株）向けの仕様になっておりますので、

- ・汎用仕様としての製品ラインナップ
- ・300 mm ウェハに対応したサイズのチルト機構の開発
- ・半導体製造市場以外への展開

を図り、製品ラインナップの拡充、リリースを続けていきます。

また、本報ではピエゾアクチュエータを搭載したチルト機構を開発しました。今後は、当社の保有技術であるリニアモータ（ボイスコイルモータ）を搭載することで、低背化と応答性を向上させたチルト機構の開発も進めてまいります。