

ウェーハ保管・搬送用環境ボックス

田中 亮* 鈴木 庸子** 大橋 知範**

Wafer Ambient Control Box

by Akira TANAKA, Yoko SUZUKI, & Tomonori OHASHI

A 200 mm wafer ambient control box, which corresponds to the SMIF system, has been developed. This ambient control box is a wafer storage-transporting container, capable of minimizing particle contamination, molecular contamination, as well as humidity. The following outlines some results of the development carried out under grant from the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) of Japan, including data on a 300 mm wafer ambient control box.

Keywords: Semiconductor, Wafer, Contamination control, SMIF system, Clean environment, HALCA project, Out gas, PWP test, Chemical filter, Airborne molecular contaminants

1. はじめに

半導体素子の最小加工寸法は年々微細化が進み、それに伴い空気中の微粒子や金属不純物の汚染低減要求も年々厳しくなってくる。1980年代末頃から主に微粒子汚染の低減を目的として、SMIF (Standard Mechanical InterFace) と呼ばれるミニエンバイロメントシステム (Mini environment system) がアメリカで開発され、現在ではSEMI (Semiconductor Equipment and Materials International) によって標準化されている。ミニエンバイロメントシステムは局所清浄化の思想に基づき考案されたシステムで、①容器ドアを自動的に開閉するロードポート、②ウェーハ受け渡し装置、③これらの装置を囲う空気清浄装置付きのエンクロージャ、④容器、⑤搬送装置等から構成されており、半導体製造装置や容器外側の汚染物の影響をほとんど受けないシステムである。概念を図1に示す。当社では、ウェーハを保管・搬送する容器内の空気を清浄にする機能を持ち、前記SMIFシステムに対応した環境ボックスを開発した。本報では、平成13年度から15年度経済産業省「情報通信基盤高度化プログラム」の実用化開発助成金事業（事業

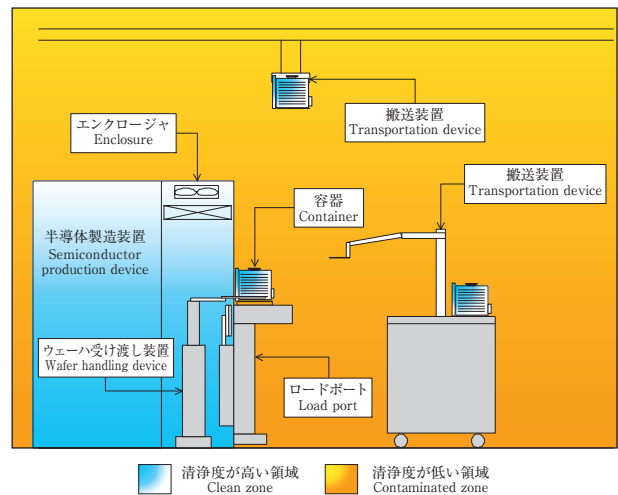


図1 ミニエンバイロメントシステム
Fig. 1 Mini-environment system

名：高効率次世代半導体製造システム技術開発*1) として、新エネルギー・産業技術総合開発機構より助成金を受けて実行した成果と、300 mm ウェーハ用環境ボックスの開発状況について紹介する。

*1：Highly Agile Line Concept Advancement：以下、HALCAプロジェクト

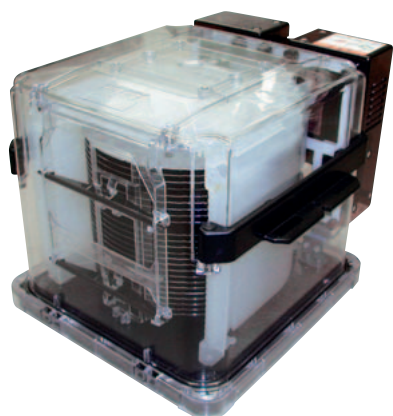
2. 環境ボックス

環境ボックス外観を写真に、仕様を表1に示す。環境

* 精密・電子事業本部 精密機器事業部 環境機器事業室 開発部

** 同 企画室

** 同 精密機器事業部 技術計画部



04-118 02/205

写真 環境ボックス
Photo Wafer ambient control box

ボックスは、ウェーハの保管・搬送容器に微粒子除去フィルタ、分子汚染物除去フィルタ、除湿器、ファンモータ及び電池ユニットを搭載したもので、容器内の空気を循環・清浄化することによってウェーハへの汚染物の付着を防止する。ここでいう分子汚染物とは、空気中の水分によってイオン化したアンモニア、ふっ素、塩素等の無機物や、トルエンのような有機物を指しており、空気の成分である窒素、酸素、アルゴン等は含まない。ファンモータから送られた空気は、まず固体高分子電解質膜によって除湿され、分子汚染物除去フィルタと微粒子除去フィルタで汚染物を除去してウェーハに供給される。

2-1 特長

- (1) 200 mm ウェーハ SMIF インタフェイスに適應する。
- (2) 微粒子除去材は自身からの有機物脱ガスが少ないポリテトラフルオロエチレン (PTFE) である。
- (3) 除湿器は固体高分子電解質膜を用いており、交換頻度は1年以上である。
- (4) フィルタ下流側に整流板を取り付けることによりウェーハに均一な清浄空気を供給する。
- (5) ドア開閉検知センサにより、ドア開放時にファンモータの運転停止が可能である。
- (6) 底部に充電端子を配置しており、所定の場所に着座すると自動充電が可能である。

2-2 基本性能

環境ボックスの基本性能を表2に示す。環境ボックス内の濃度はボックス外の濃度に対して、微粒子は1/50000、イオン類は1/50～1/1000、有機物は1/200、湿度は1/5程度に低減できる性能をもつ。

表1 環境ボックスの仕様

Table 1 Specifications of wafer ambient control box

項目 Item	詳細 Detail	
収納物 Items housed	200 mm ウェーハ 25枚 200 mm wafer 25 plates	
使用環境 Environmental conditions	温度 Temperature	5～35℃
	湿度 Humidity	20～80%RH
フィルタ類 Filters	微粒子除去フィルタ Particle removal filter	ULPAフィルタ ULPA filter
	分子汚染物除去 フィルタ Molecular contaminant removal filter	カチオン交換不織布 Cation exchange fabric
		カチオン交換不織布 Cation exchange fabric
		アニオン交換不織布 Anion exchange fabric
	活性炭 Activated carbon	
除湿器 Dehumidifier	固体高分子電解質膜 Solid polymer electrolyte membrane	
電源関係 Power system	電池 Cell	ニッケル水素電池 Rechargeable Ni-MH cell
	運転制御 Operation control	タイマ制御による Via timer settings
	充電器 Charger	専用充電器による For exclusive use with the product
外形寸法 Dimensions	W 283 × L 349 × H 254 mm	
質量 Mass	4kg *1	

*1：ウェーハ、キャリアを含まない総質量
Total mass excluding wafers and carrier

表2 基本性能

Table 2 Performance

物質 Substance	ボックス内 Inside the box	ボックス外 Outside the box	単位 Unit
微粒子 Particles	<5	>1000000	/m ³
NH ₄ ⁺	<0.02	～20	μg/m ³
Cl ⁻	<0.05	～5	μg/m ³
NO ₂ ⁻	<0.1	～5	μg/m ³
NO ₃ ⁻	<0.1	～5	μg/m ³
SO ₄ ²⁻	<0.01	～5	μg/m ³
有機物 Organic carbon	<0.5	～100	μg/m ³
25℃での湿度 Humidity at 25℃	<10	～50	%RH

3. 環境ボックスの位置付け

HALCA プロジェクトは、多品種少量生産に対応可能な省エネルギー形高効率ラインの構築が目的であり、即

実用化を目指している。プロセス技術は130 nmノード、Cu多層配線であり、環境ボックスを含む9種のテーマを研究・開発した。省エネルギー形高効率ラインでは、クリーンルームのスペック緩和を念頭においており、製造装置やクリーンルーム内の微粒子や分子汚染からウェーハへのクロス汚染を抑制する技術が必要になる。環境ボックスは、前記クロス汚染抑制のための手段として位置づけられる。

4. 成果

HALCAプロジェクトで得られた成果のうち、本報ではクリーンルーム内における微粒子汚染防止に関する評価結果について以下に説明する。

4-1 目標清浄度

0.1 μm以上の粒径で100 000個/ft³以上の微粒子濃度を目標に設定した。ISO 14644-1 Cleanrooms and Associated Controlled Environment Part 1: Classification of air cleanlinessによる清浄度分類は、クラス7に相当する。

4-2 ウェーハの保管時の微粒子汚染評価

粒径0.1 μm以上の微粒子濃度が100 000個/ft³程度(ピーク時1 000 000個/ft³)の実験ブース内に3台の環境ボックスを7日間保管し、保管前後のウェーハ表面の微粒子個数を測定した。検査装置の測定粒径は、0.1 μm以上である。ウェーハは25枚収納したが、そのうち評価用ウェーハはキャリア下部(Slot 1, 2)、中央部(Slot 12, 13)、上部(Slot 24, 25)の6枚とした。ファンモータ及び除湿器を連続運転したときの結果を図2に示す。3個の環境ボックスとも、初期と7日後で微粒子の増加は見られなかった。

次に、2台の環境ボックスを使用してファンモータ停止時の影響について評価した。運転条件は次の3種類について実施した。他の条件はファンモータ連続運転時と

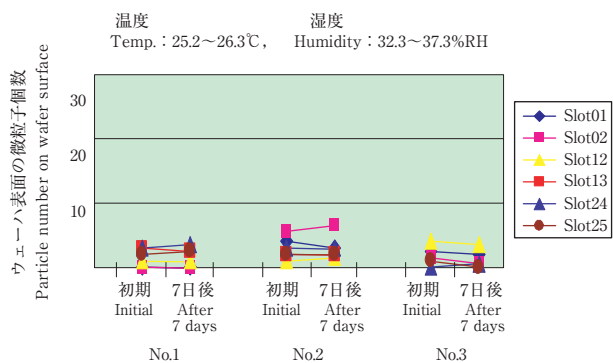


図2 ウェーハ保管後の微粒子汚染評価

Fig. 2 Evaluation for particle contamination after wafer storage

同様とした。

条件1: ファンモータを連続運転状態から30秒停止、30秒運転する動作を10回繰り返す。

条件2: ファンモータを連続運転状態から30分間停止する。

条件3: ファンモータを連続運転状態から120分間停止する。

結果を図3に示す。3条件とも、微粒子の増加は見られず、ファンモータが予期せぬ不具合で停止しても、問題ないことが確認できた。

4-3 ウェーハ搬送時の微粒子汚染評価

粒径0.3 μm以上の微粒子濃度が1 300 000~2 000 000個/ft³の事務所通路で、1台の環境ボックスを台車に載せて約10分間搬送し、搬送前後のウェーハ表面の微粒子個数を測定した。上下方向の振動は約0.4 Gと0.7 Gの2条件で実施した。ファンモータは連続運転とし、測定粒径、評価用ウェーハ位置・枚数は保管時と同様とした。結果を図4に示す。0.4 G搬送では微粒子の増加は見られなかったが、0.7 G搬送ではキャリア下部(Slot 1, 2)に最大11個微粒子が増加した。微粒子の付着はキャリア下部だけで見られたため、ボックス外からドアシール部を通して粒子が流入したものと推定された。気密性の向上が今後の課題である。

4-4 ウェーハ受渡し時の微粒子汚染評価

4-4-1 評価方法

ウェーハ受渡し時の微粒子付着の評価方法としては、PWP (Particle per Wafer Pass) 試験が一般的である。この方法は、あらかじめウェーハへの微粒子付着数を測

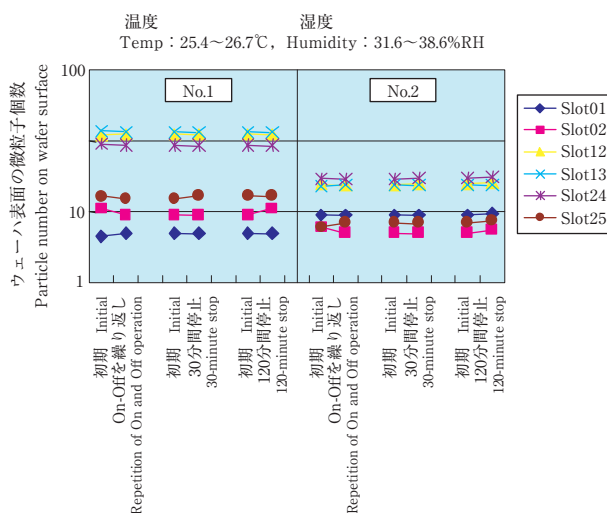


図3 ファンモータ停止時の微粒子汚染評価

Fig. 3 Evaluation for particle contamination when fan motor was turned off

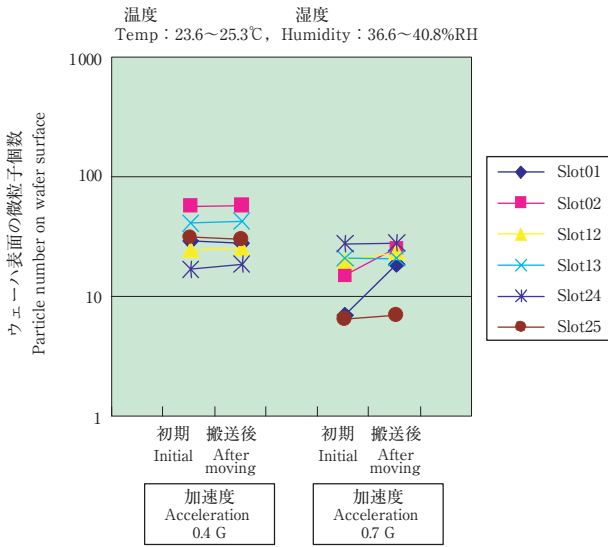


図4 搬送時の微粒子汚染評価

Fig. 4 Evaluation for particle contamination after wafer moving

定したウェーハを入れたボックスを準備し、ドア開閉を多数回繰り返した後に再度ウェーハの微粒子付着量を測定する。ドア開閉前後の微粒子増加量とドア開閉回数から下式によってPWP値を計算し、評価を行う方法である。概要を図5に示す。

PWP値 [個/(cm²・pass)]

$$= \frac{\text{微粒子増加個数}}{\text{ウェーハの面積} \times \text{ドア開閉回数}}$$

4-4-2 評価条件と目標性能

- ・ 環境微粒子濃度：粒径0.1 μm以上の粒子に対して 100000個/ft³以上
- ・ SMIFローダ：ドア下降形
- ・ ドア開閉回数：200回開閉を3回
- ・ 評価ボックス数：環境ボックス2台
- ・ PWP値の目標：平均値で1 × 10⁻⁴ 個/(cm²・pass) 未満 (粒径0.1 μm以上)

4-4-3 結果

結果を図6に示す。PWP値は平均値で1 × 10⁻⁵ 個/(cm²・pass) と目標の1/10であった。更にばらつきを考慮して、平均値に標準偏差の2倍を加えた値を計算しても4 × 10⁻⁵ 個/(cm²・pass) であり、実用上問題ないことが確認できた。

4-5 まとめ

今回実施した一連の微粒子汚染評価試験によって、クリーンルームの清浄度がISOクラス7でも半導体製造ができる見通しが立った。クリーンルーム空調電力量の削減効果を図7に示す。クリーンルームの清浄度をクラス

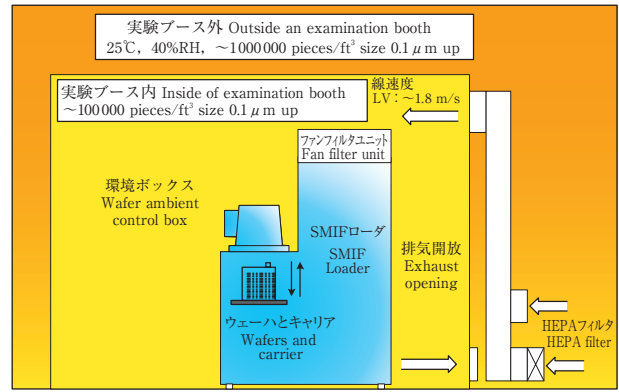


図5 PWP概要

Fig. 5 PWP test equipment

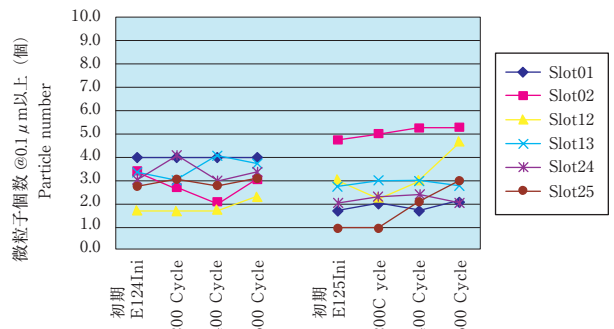
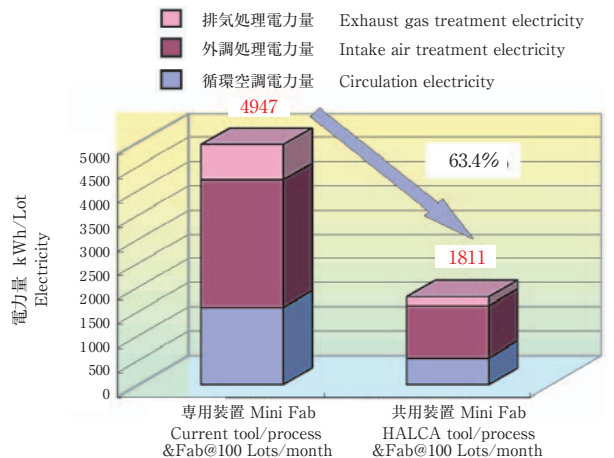


図6 PWP結果

Fig. 6 Result of PWP test



削減理由
 Energy saving obtained by
 循環：装置台数削減によるクリーンルーム面積減少の効果
 Circulation: Cleanroom area reduction by tool number reduction
 環境ボックスによる清浄度ダウン効果
 Re-condition of required cleanliness applying wafer ambient control box
 (FFU 70回/h換気からダクト方式 25回/h)
 (Current: 70 times/h@FFU type → Reduced: 25 times/h@Duct type)
 外調：装置台数削減・クリーンルーム面積削減・装置排気量削減による外気量削減による効果
 Intake air treatment: Required intake air volume reduction by reduction of tool number, cleanroom foot print and re-examined required exhaust volume of each tool
 排気処理：クリーンルーム面積削減に伴う圧力損失低減による効果
 Exhaust gas treatment: Reduction head loss by reduction of cleanroom area

図7 クリーンルーム空調電力費の削減

Fig. 7 Electricity saving at Cleanroom. Air conditioning

5からクラス7に緩和した場合、循環換気回数は70回/hから25回/hに低減できる。従来装置で構成した工場の空調電力量が4947 kWh/Lotに対して、HALCA装置で構成した工場では1811 kWh/Lotになり63.4%の削減と試算された¹⁾。

5. 300 mm ウェーハ用環境ボックスについて

近年新設される半導体工場の多くは300 mm ウェーハの製造ラインである。300 mm ウェーハの質量は200 mmの2.25倍であり、ウェーハ25枚を収納した容器の質量が10 kg近くなるため、自動搬送装置による取り扱いを前提にしたミニエンバイロメントシステムが主流にな

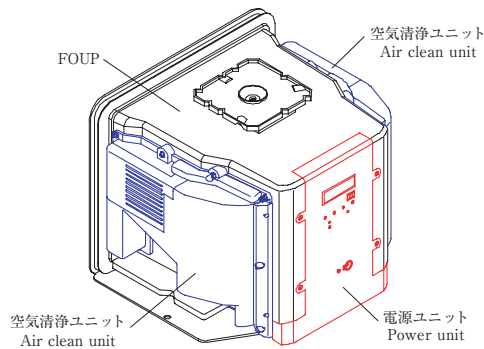


図8 300 mm ウェーハ用環境ボックス
Fig. 8 Wafer ambient control box for 300 mm wafers

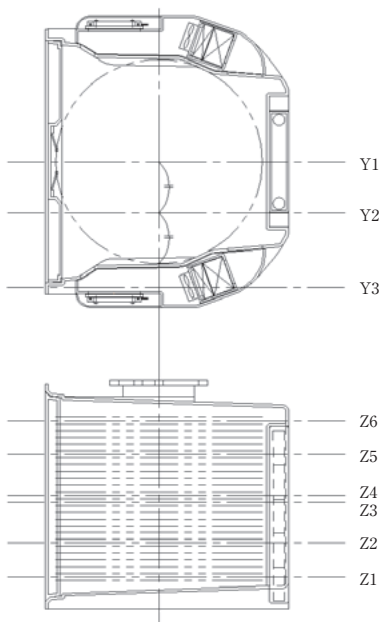


図9 流れ解析断面
Fig. 9 Section of fluid flow analysis

っている。300 mm ウェーハ用環境ボックス試作機を図8に示す。本試作機は、FOUP (Front Opening Unified Pod : SEMIで規格化されたウェーハ搬送容器) の両側面に空気清浄ユニットを、背面に電源ユニットを配置した構造になっている。機能と寸法はSEMI規格に準拠しており、通常のFOUPとの置き換えも可能である。

5-1 基本性能

基本性能は表2と同じなので、ここではボックス内の流れ解析結果を紹介する。200 mm ウェーハ用と同様に、ウェーハに対して均一な気流形成を考慮して設計した。解析断面を図9に、解析結果例としてZ4断面 (Slot 13とSlot 14間)を図10に、Y1断面 (ウェーハ中央)を図11に示す。図10からウェーハ面内の大部分は0.01～0.03 m/sの速度域にあり、比較的均一な流れといえる。図11からウェーハ積層方向の速度は、25枚目ウェーハとボックス天井内壁の間を除いて、均一な流れが形成されている。

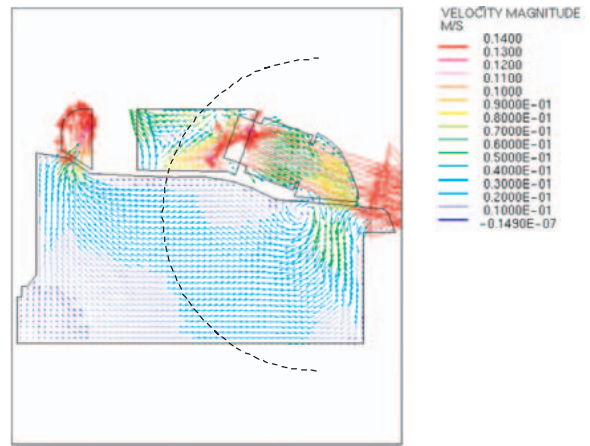


図10 流れ解析 (Z4断面)
Fig. 10 Velocity vector of Section "Z4"

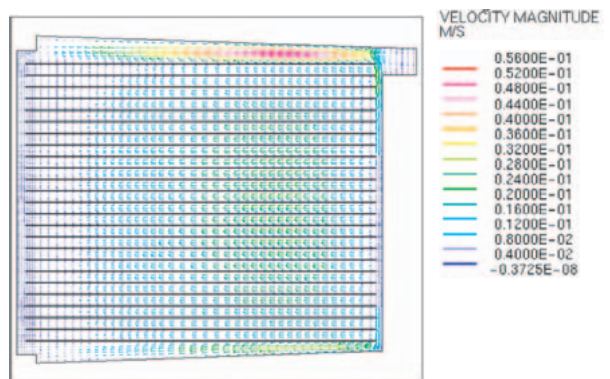


図11 流れ解析 (Y1断面)
Fig. 11 Velocity vector of Section "Y1"

5-2 技術的な課題

200 mm ウェーハ用, 300 mm ウェーハ用環境ボックスに共通の技術的な課題を以下に記す。このうち (4) の寿命検知については HALCA プロジェクトの技術課題の一つとして検討済みであり, 目処は立っている。

- (1) 除湿性能の向上
- (2) 軽量化
- (3) 気密性の向上
- (4) 分子汚染物除去フィルタの寿命検知

6. おわりに

HALCA プロジェクトでは TEG (Test Experimental

Group) を使用したデバイス検証も実施した。本報では紹介できなかったが, 結果は既存の SMIF ボッドと同等であり, プロセスによっては環境ボックスの優位性を示すデータもいくつか確認することができた。HALCA プロジェクトで得られた成果は貴重であり, 300 mm ウェーハ用環境ボックス量産の足掛かりにしていきたい。最後に, 環境ボックスの開発にあたり, 多大なご支援とご指導をいただいた関係者の方々に厚くお礼を申し上げる。

参考文献

- 1) 2004年4月27日 HALCA プロジェクト成果報告会資料 P.19/87

