

高スループットを実現した枚葉式熱処理装置

High Throughput Single Wafer Thermal Process Equipment

池田文秀* *Fumihide Ikeda*

内野敏幸** *Toshiyuki Uchino*

渡辺智司*** *Tomoshi Watanabe*



精度・スループットを倍増した枚葉熱処理装置“VERTEX-VII”

この装置はTAT(Turn Around Time)の短縮に大きく寄与している。

クォータミクロン時代では、微細化・薄膜化に伴う高精度化、高品質化、浅接合化などのプロセス技術と、自動化、大口径化、多品種・変量生産化、開発試作期間の短縮化、設備投資額の低減などの経済性に適合した熱処理装置が要求される。

これらのニーズにこたえて高コストパフォーマンスの枚葉熱処理装置を開発した。この装置は、従来技術の抵抗加熱ホットウォール方式の温度均一性、

長寿命ヒータ、低消費電力などの利点を生かし、かつウェーハを2枚一括処理することによって高精度、高スループット、高信頼性、低ランニングコスト、イージーメンテナンス、FA対応、マルチプロセス対応などを実現した。

これによって精度(膜厚均一性)とスループットは、従来装置に比べそれぞれ約2倍に向上できた。

* 国際電気株式会社 富山工場 ** 日立製作所 半導体事業部 *** 日立製作所 機械研究所

1 はじめに

半導体デバイス製造プロセスに使用される熱処理装置は、サブミクロン時代に入り横型バッチ処理方式から縦型バッチ処理方式に置き換わってきた。ハーフミクロン時代では、薄膜化に伴いウェーハ表面に形成される自然酸化膜を抑制するロードロック式縦型装置も採用され始めている。しかし、これらのバッチ処理方式は、クォータミクロン時代のニーズに対応するには限界があると考えられる。

今回開発したマルチチャンバタイプの枚葉処理装置は、短時間でウェーハを2枚ずつ処理できるため、高精度化、高スループット化、高品質化、サーマルバジェット(熱履歴)の低減、TATの短縮、連続処理などが可能であり、将来のニーズに適合した装置であると考えられる。

ここでは、従来の問題点を解決した高精度・高スループットの枚葉熱処理装置“VERTEX-VII”について述べる。

2 従来装置の問題点と解決策

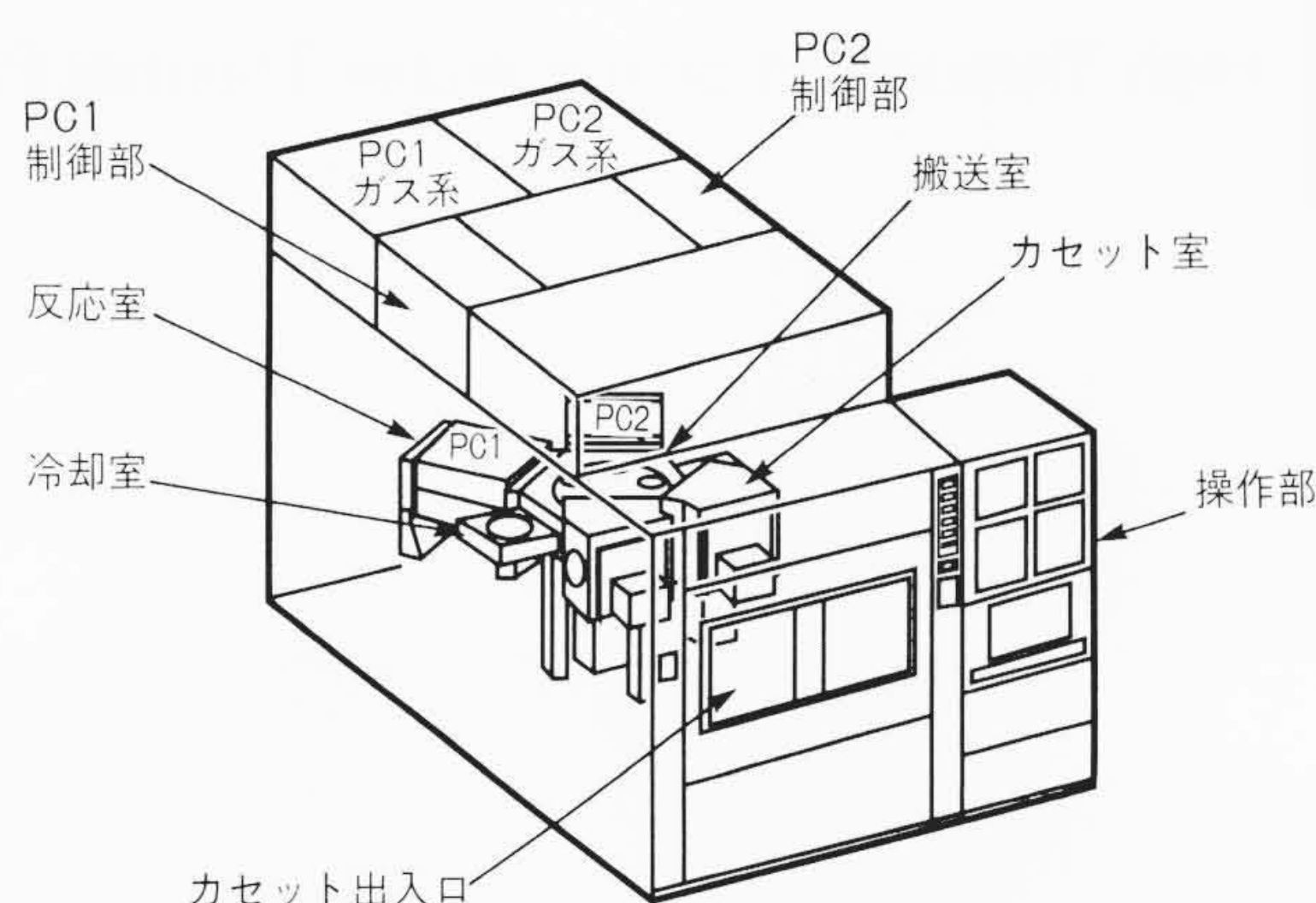
枚葉熱処理装置は、スループット向上のため急速昇降温と高速成膜によって短時間処理を行う必要がある。現在製品化されている枚葉熱処理装置は、赤外線ランプを用いたランプ加熱方式が主流である。ランプ加熱方式は急速温度ランピングと、1,000℃以上の高温加熱が可能であることから、シングルチャンバマルチプロセス処理に適しているという利点がある。一方、温度均一性の確保と温度制御が難しいため、 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以下の高精度な温度制御を実現するのが困難であり、また加熱効率が低いため消費電力が大きく、かつランプ寿命が短いので信頼性が低いという欠点がある。

そのため、従来のバッチ処理装置で使用されている抵抗加熱ホットウォール方式の温度均一性、長寿命加熱源、低消費電力などの利点を生かし、温度応答性が悪くスループットが低いという欠点を克服するため、ウェーハ2枚を一括処理する方式とした。

3 開発コンセプトと装置概要

“VERTEX-VII”は、クォータミクロンデバイス対応として要求される性能を満たし、使い勝手の良い装置とするため、高性能、高スループット、高信頼、マルチプロセス対応、自動化対応、省エネルギー、省スペース、およびイージーメンテナンスを開発コンセプトとした。

この装置の外観を59ページの図に、全体構造を図1に



注：略語説明 PC (プロセスチャンバ)

図1 “VERTEX-VII”の構造
2プロセスチャンバタイプの構造を示す。

示す。この装置は、本体部と操作部および地階に設置可能な真空排気ポンプと電源部とで構成している。本体部は、ウェーハ搬送ロボットを収納する六角形の搬送チャンバの周囲に、カセット室2台と反応炉2台およびプロセス処理後のウェーハを冷却する冷却室が接続された放射状クラスタ構造となっている。

本体の天井部には、各反応炉に対応したガスシステムと制御系を設置し、省スペース化を図っている。

4 装置仕様と特長

“VERTEX-VII”の仕様を表1に示す。この装置の特長をデータを用いて以下に述べる。

4.1 高精度温度制御

反応炉は、角形ヒータユニットの内部に石英反応管を設置して、ホットウォール型反応炉構造とした。温度制御は、ヒータ内に埋め込まれた熱電対によって行い、 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ の高精度の温度制御ができる。また、反応室内にも熱電対を挿入したことにより、ウェーハ温度の制御が可能である。反応室に N_2 ガスを800 cc/min流し、圧力を30 Paとした場合のウェーハの温度分布を図2に示す。上下ウェーハ2枚とも、 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 以下の良好な温度均一性が得られている。

4.2 高スループット

ホットウォール型抵抗ヒータは、熱容量が大きくランプ加熱方式に比べ温度応答性が悪いため、秒オーダーの急速加熱が困難である。この装置では、ヒータ温度をプロセス処理温度に固定し、ウェーハを2枚一括処理することによってスループットの向上を図った。また、2枚同時に搬送可能なロボットも開発した。

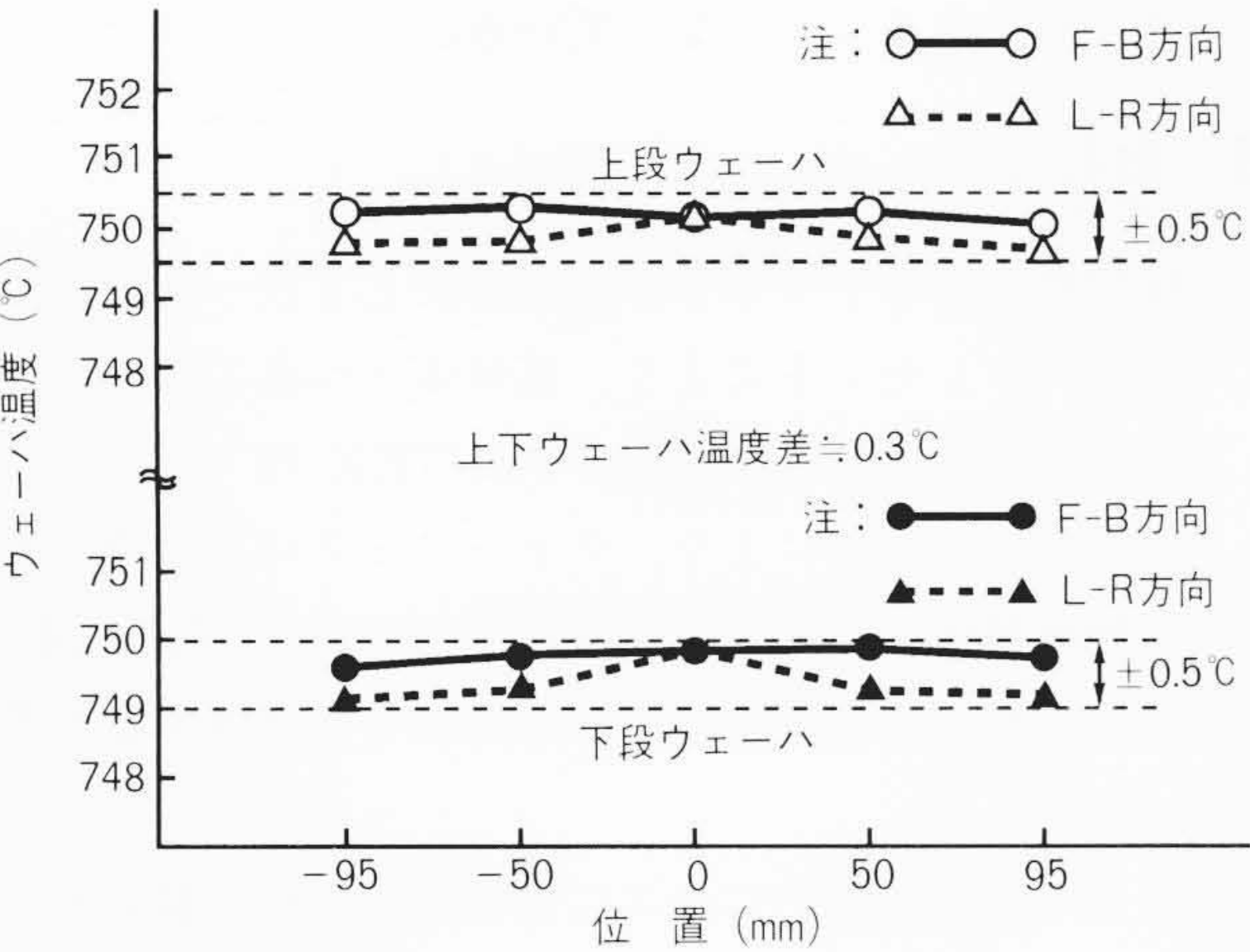
表1 “VERTEX-VII”の基本仕様
Poly SiはDoped Poly Siも含む。

項 目	仕 様
膜 種	Si ₃ N ₄ , Poly Si, (HTO)
処 理 ウ ェ ー ハ 径	8 インチ
常 用 温 度	400～900 °C
成 膜 圧 力	30～1,000Pa
処 理 枚 数	1～2 枚
温 度 均 一 性	±0.5 °C
膜 厚 均 一 性	±1.5 %
ス ル ー プ ッ ト	20枚/h・チャンバ
パ ー テ ィ ク ル (0.2 μm)	10個/ウェーハ
セ ル フ ク リ ー ニ ン グ	ガスクリーニング
消 費 電 力	3 kW/ヒータ (800 °C)
プ ロ セ ス チ ャ ン バ 数	最大 3 台
自 動 化	AGV, CIM対応可

注：略語説明 AGV(自動カセット搬送車), CIM(Computer Integrated Manufacturing), HTO(High Temperature Oxide)

4.3 高精度膜厚均一性

薄膜のシリコン窒化膜(Si₃N₄)の膜厚均一性を図3に示す。また、1カセット分25枚を連続処理した場合のバッチ間均一性を図4に示す。12バッチ目までは2枚一括処理であり、13バッチ目は1枚処理となっている。これらのデータからわかるように、いずれの場合でも±1.5%以下の良好な均一性が得られている。ポリシリコン膜(Poly Si)についても同等の均一性が得られることを確認している。



注：略語説明
F (Front ; 搬送室側), B (Back ; 搬送室の反対側)
L (Left), R (Right), L-R (F-B方向と直角方向)

図2 ウェーハの温度分布
±0.5°C以内の均一性が得られる。

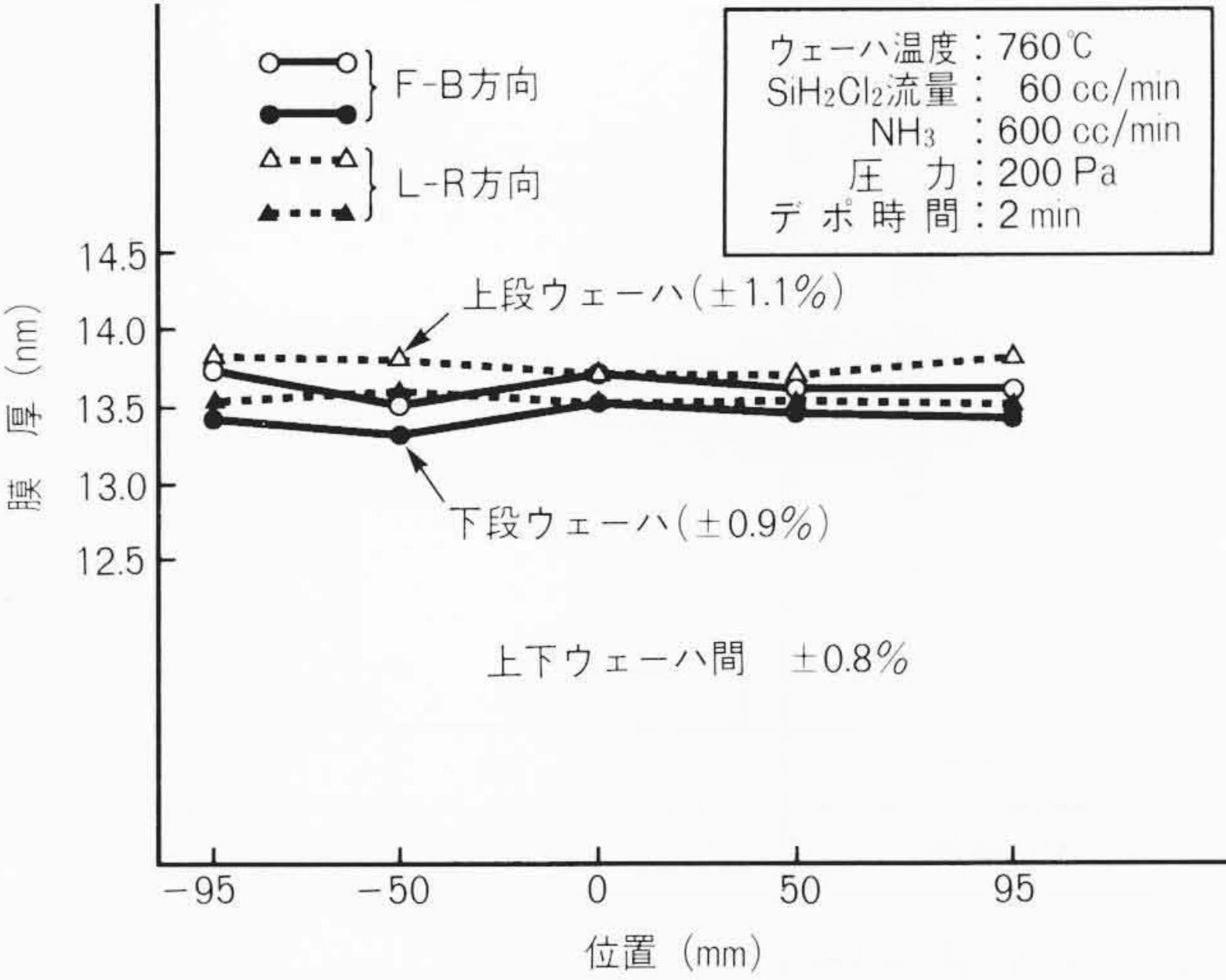


図3 薄膜形成時の膜厚均一性(Si₃N₄膜)
高速成膜によって150 nm程度の厚膜を形成した場合も、同等の均一性が得られる。

4.4 低パーティクル

この装置の反応室内の構造は、ウェーハの回転機構がないため非常にシンプルな構造となっている。また、ウェーハ搬送ロボットやゲートバルブ、カセットエレベーター機構などの回転、移動機構部には、磁性流体シールやベローズなどの無摺(しゅう)動機構を採用している。さらに、カセットチャンバ、搬送チャンバなどの真空容器内には、極力溶接部やボルトを露出しない構造とし、低パーティクルを実現している。累積74バッチ、累積膜厚550 nm形成後のパーティクル評価結果を図5に示す。成膜しない場合のパーティクルは、粒径0.2 μmサイズで

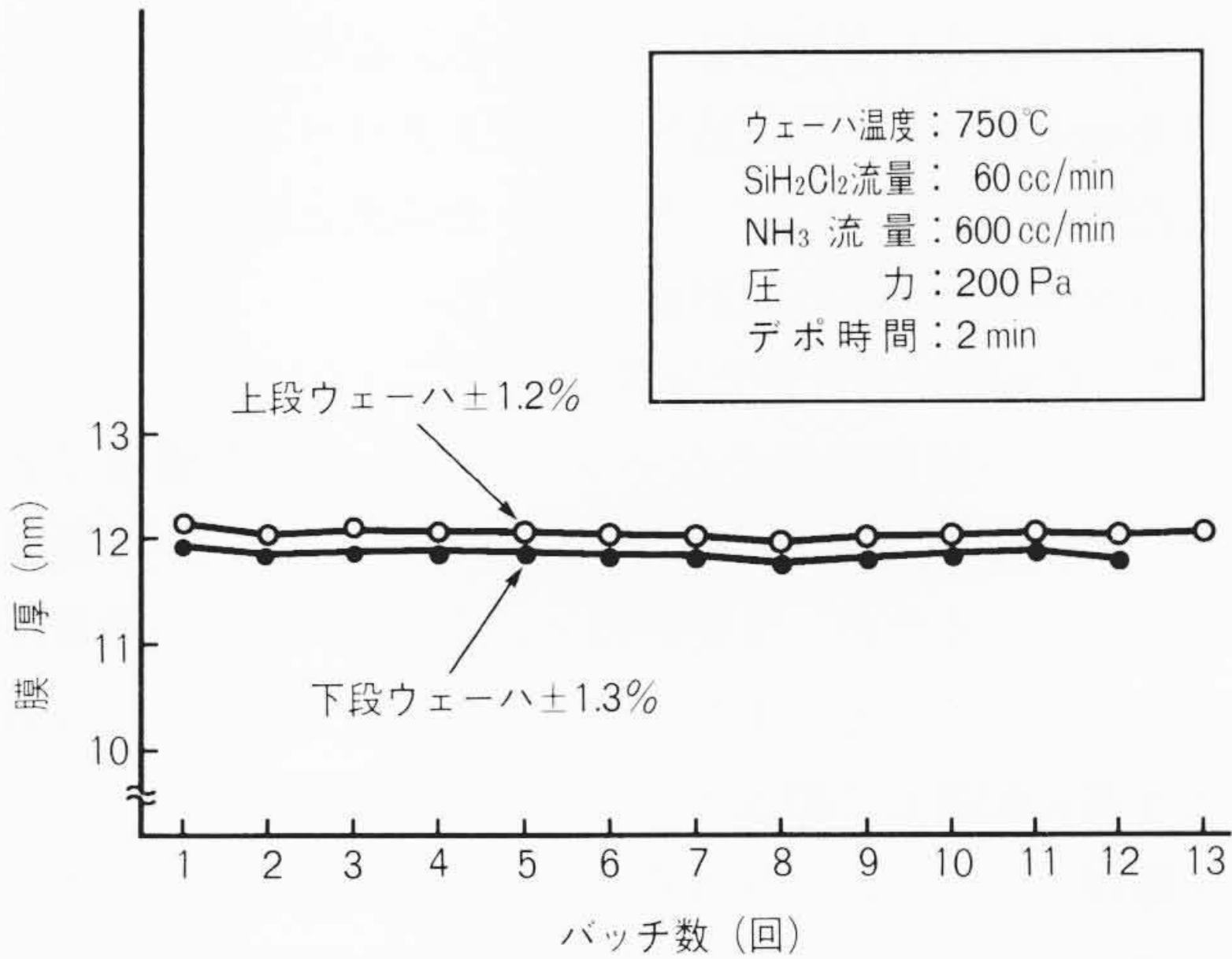
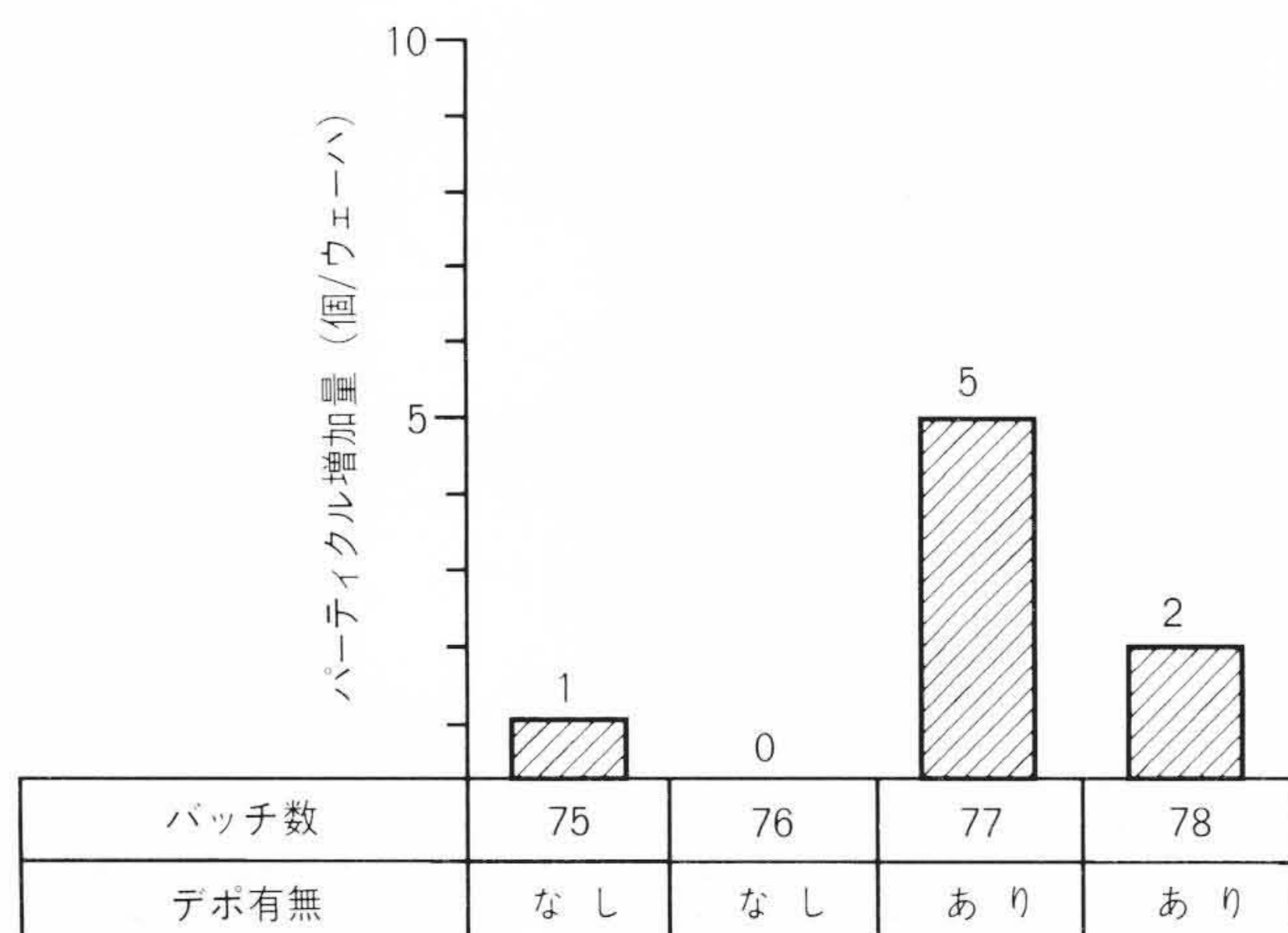


図4 連続処理時のバッチ間膜厚均一性
1枚処理の場合は、処理条件を変更することによって均一性が確保できる。

図5 Si₃N₄膜のパーティクル評価結果

デポなしは、ウェーハ処理プロセスでN₂ガスだけを流して処理した場合を示す。

1個以下であり、機構部からの発塵(じん)はほとんど回避できている。また成膜した場合も、5個/ウェーハ以下の低パーティクルが得られている。

4.5 高信頼性

ランプ加熱方式では、ランプの寿命が約2,000時間程度と短く、また経時変化によって劣化するため、装置信頼性低下の原因となっている。この装置で用いられている抵抗ヒータはバッチ処理装置と同一であり、1年以上の寿命を持ち、高信頼性を確保できる。また、ウェーハ搬送機構には信頼性の高いACサーボ機構を採用しているため、長期間のMTBF(Mean Time Between Failures)を確保できる見込みである。

4.6 セルフクリーニング

枚葉熱処理装置は、稼働率向上のため、反応室内のセルフクリーニングが必須(す)である。この装置では、数カセット処理ごとに反応室内をガスクリーニング可能とした。将来的には、パーティクルモニタと連動してクリーニングできるように計画している。

4.7 イージーメンテナンス

ウェーハ回転機構のないシンプルな反応炉構造であり、抵抗ヒータを使用し、かつセルフクリーニング機能を持っているため、反応炉のメンテナンス頻度が非常に少なくなっている。また、ガスシステムや制御系を装置天井部に配置して搬送チャンバ周辺にオープンスペースを確保し、さらに、制御系の自己診断機能やメンテナンス機能により、メンテナンス性の向上を図っている。

4.8 操作性向上

この装置は複数の反応室を持つ構造となっている。制御系もこの構造に柔軟に対応できるように、(1)システム制御、(2)反応室制御の2レベルで構成している。システム制御は、搬送室制御を中心にウェーハごとの搬送および処理の指示を行い、14インチカラーCRTとマウスによるグラフィックユーザーインタフェースを持ち、装置イメージ図をモニタしながらの簡易操作ができる。反応室制御は、システム制御部からの指示でプロセス制御を実行する。コントローラは、操作性で定評のある縦型装置用のCX2000を採用し、レシピの作成や反応室のモニタなどをきめ細かく行うことができる。

4.9 自動化

半導体製造ラインでは、無塵化、省力化、生産性向上および品質向上のため自動化が進められており、今後ますますFA化に向けて、CIMによる完全自動生産化が進むと予測される。このような動向に対応するため、AGVによるカセット搬送の自動化と上位ホストコンピュータとの接続が可能となっている。

4.10 マルチプロセス対応

クォータミクロン時代以降の製造プロセスでは、自然酸化膜抑制や不純物汚染低減のため、連続マルチプロセス処理の導入が本格化すると予測される。また、異なるプロセス処理装置と連結し、インテグレートシステムへの展開が進むと考えられる。この装置は、SEMI-MESC規格に準拠して作られており、反応炉を3台まで増設することによって3連続マルチ処理が可能である。また、冷却室をバッファチャンバとすることにより、別の装置との連結ができるようになっている。

5 おわりに

抵抗加熱式ホットウォール型反応炉と2枚一括処理方式の新しいコンセプトにより、高精度かつ高スループットを実現した枚葉熱処理装置“VERTEX-VII”を開発した。この装置の採用により、クォータミクロン以降のデバイス開発試作期間の大幅な短縮が図られ、また、ASICデバイス生産や中規模量産ラインで威力を発揮すると考えている。

今後さらにユーザーニーズにこたえるため、製品系列の拡大に取り組む次第である。