

光アッシング装置

Ultraviolet rays/Ozone Ashing System

半導体素子の高集積化が進行する中で、製造工程での低ダメージ化が要求され、アッシング工程でも従来技術では対応が困難になりつつある。このような状況の中で、紫外線とオゾンを用いた、いわゆる光アッシング装置は荷電粒子が存在せず、またハロゲン系のガスを使用せずSiO₂を削らないため、ダメージに敏感なゲート酸化膜を持つ工程をはじめとして、量産工程に適用されてきている。光アッシングでは、素子がチャージアップしないだけでなく、可動イオン汚染や重金属汚染をも低減でき、その他の評価でも十分低ダメージであることが実証されている。ウェーハの大口径化や、カセット搬送の自動化などに対応した最新モデルの製品化により、16 MDRAM(Dynamic RAM)はもとより64 MDRAMへの適用も可能となった。

稲田暁勇* Akio Inada
徳田光雄* Mitsuo Tokuda
川澄建一* Ken'ichi Kawasumi
鈴木輝喜** Teruki Suzuki

1 はじめに

半導体素子の微細化、高集積化の進行とともに、製造工程での低ダメージ化が必要となってきた。これまで、微細化に力を入れる反面、アッシング工程などでのダメージの低減努力は後回しになってきた傾向がある。しかし、16 MDRAM以降は、アッシングや洗浄工程をも改善することが必須(す)となっている。

従来、主に使用されている酸素プラズマ方式(以下、プラズマアッシングと称する。)では、プラズマ中の荷電粒子がウェーハ上の素子にチャージアップするなど、半導体素子の高集積化とともに問題視されてきた。このため、低ダメージを指向するアッシング法として、以下のように各種の方式が提案、使用されている。

(1) ダウンフロー方式(以下、ダウンフローアッシングと称する。)はプラズマアッシングの改良版であるが、まだプラズマの影響でダメージが無視できなかったり、添加されるハロゲン系ガスによって下地のSiO₂膜やSi膜を削ってしまうという問題がある。

(2) オゾン方式(以下、オゾンアッシングと称する。)はオゾンを熱分解してアッシングに供する方式であり、荷電粒子が存在しないことから低ダメージを実現できる。しかし、熱分解に300℃以上の高温を必要とし、低温域では極端にアッシング速度が低下するという問題がある。

(3) 紫外線・オゾン方式(以下、光アッシングと称する。)は、

オゾンを紫外線によって分解してアッシングに供する方法であり、荷電粒子が存在しないため低ダメージを実現できる。さらに、紫外線のアシストによって低温域でもオゾン方式よりもアッシング速度が高いというメリットがある。

一方、半導体素子の高集積化に伴い、チップサイズは世代ごとに約1.5倍の割合で大きくなり、また、4～5年ごとに1インチの割合でウェーハサイズも大きくなってきた。そして、16 MDRAMからは8インチ(200 mm)ウェーハが採用されることは確実とみられている。

このような低ダメージ化および大口径化に対応するため、日立製作所では6インチ(150 mm)ウェーハ対応の紫外線・オゾン方式アッシング装置(以下、光アッシング装置と言う。)を昭和63年に製品化し、さらに平成2年には同方式の8インチウェーハ対応の光アッシング装置を製品化した。

2 光アッシング装置の原理と特長

2.1 原理

オゾンガス中で、紫外線を照射し、有機物を除去することは洗浄技術として古くから知られており、レジスト除去への応用は、1972年にD. A. Bolonなどによって実験された¹⁾。しかし、このときのレジスト除去速度は1時間当たり数百ナノメートルと非常に遅く、実用には至らなかった。

日立製作所では専用に開発した高照度紫外線ランプと高濃

* 日立製作所 青梅工場 ** 日立製作所 計測器事業部

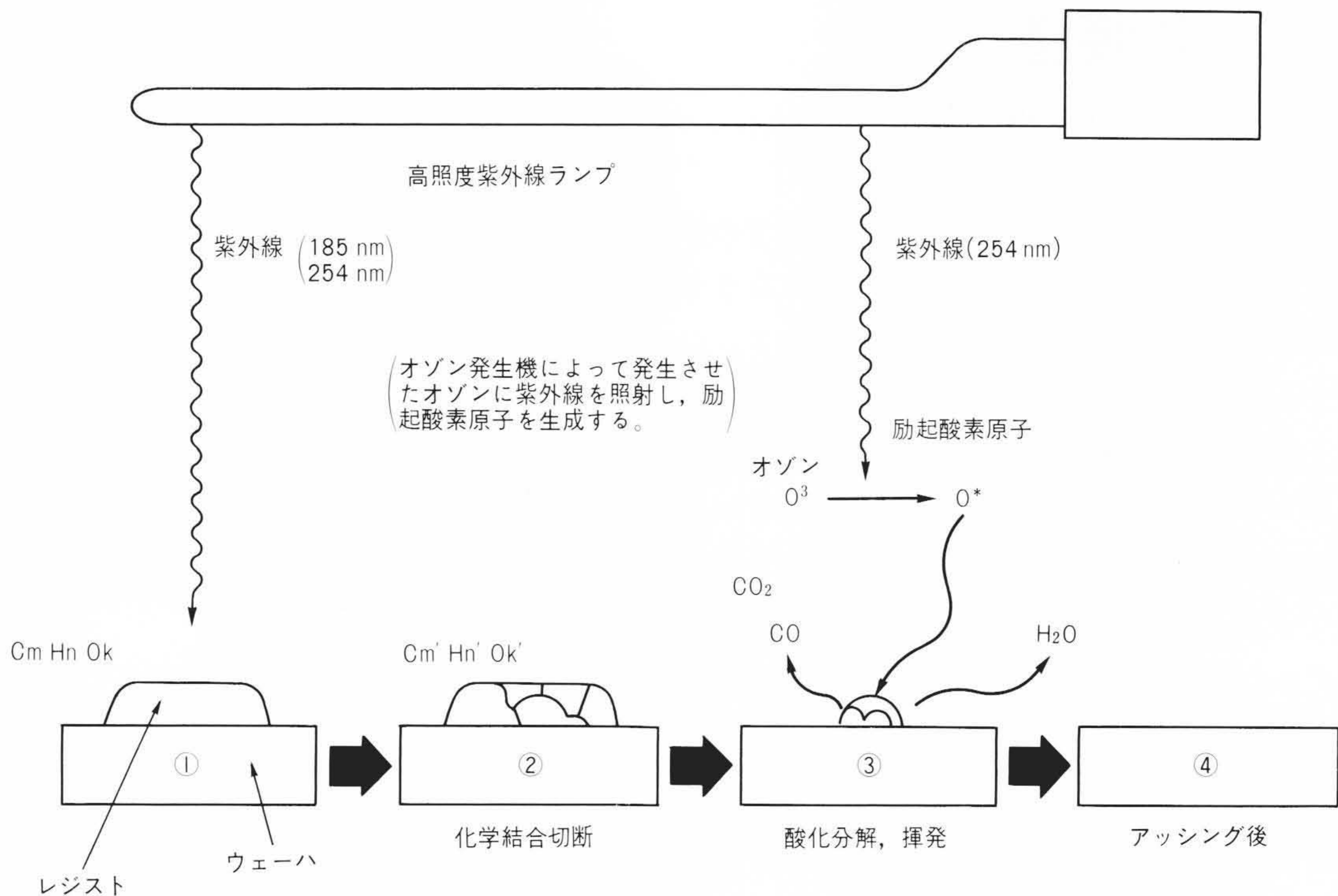


図1 光アッシングの原理 紫外線とオゾンを用いてアッシングする。荷電粒子がないため、チャージアップせず、低ダメージを実現できる。

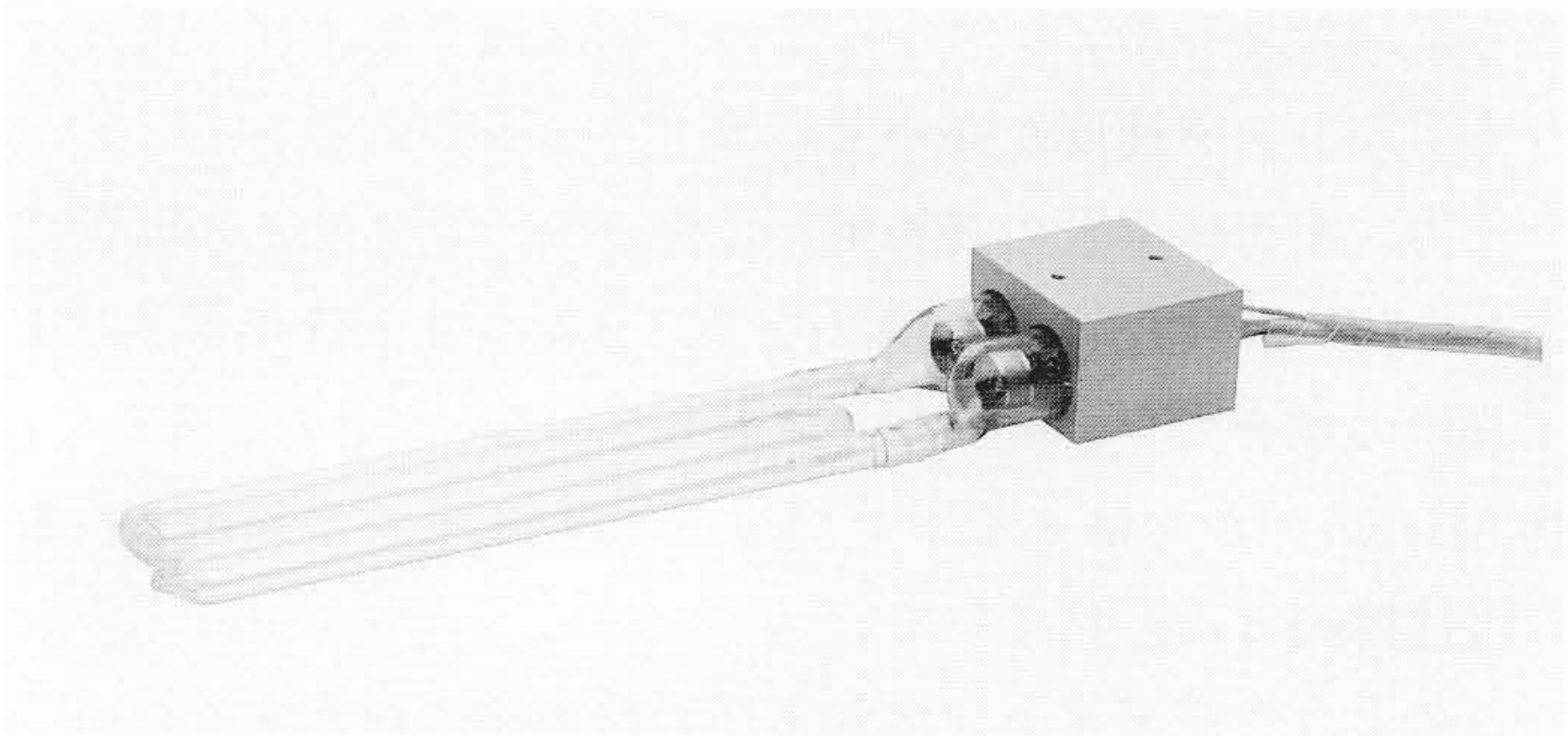


図2 高照度紫外線ランプ 低圧水銀ランプに属し、185 mmと254 mmの波長の紫外線を発光する(全長290 mm)。

度オゾンの組み合わせによって、60枚/hという実用レベルのスループットを持った光アッシング装置を開発した。その原理を図1に、高照度紫外線ランプを図2に示す²⁾。

(1) 図1の①、②

高照度紫外線ランプは低圧水銀ランプであり、水銀共鳴線の254 nmと185 nmの波長の紫外線を主として放射する。これらの紫外線がレジストに照射されるとレジスト中の化学結合を切断し、酸化反応を起こしやすくする。

(2) 図1の③、④

オゾンはオゾン発生機で生成され、このオゾンに254 nmの波長の紫外線が照射されると、オゾンが分解して励起酸素原子を生成する。オゾンには波長255 nmに光吸収のピークがあ

るため、この反応は効率よく行われる。そして生成された励起酸素原子が、先のレジストに作用してレジストを酸化、分解、揮発させアッシングを完了する。

2.2 特 長

光アッシング装置は次のような特長を持っている。

(1) 低ダメージを実現

原理上、荷電粒子が存在しないため素子のチャージアップが起こらず、また、チャージアップに密接な関連がある可動イオン汚染や重金属汚染を少なくすることができる。

(2) 薄い酸化膜を持つ工程に最適

16 MDRAM以降では、10 nm前後の薄いゲート酸化膜が使用される。低ダメージを最も要求される工程は、このゲート酸化膜形成後のアッシング工程である。光アッシングの反応ガスはオゾンと酸素だけであり、酸化膜をエッチングしないため、薄い酸化膜がある工程に適している。

(3) メンテナンスが容易

ウェーハ搬送時はもちろん、処理中も処理室内は大気圧であるため、真空ポンプや真空に伴う部品が不要である。このため、メンテナンスが容易である。

3 低ダメージを必要とする工程への適用とその性能

3.1 適用工程

光アッシング装置は、ゲート酸化膜のエッチング後のアッシングのように低ダメージを必要とする工程をはじめとして、

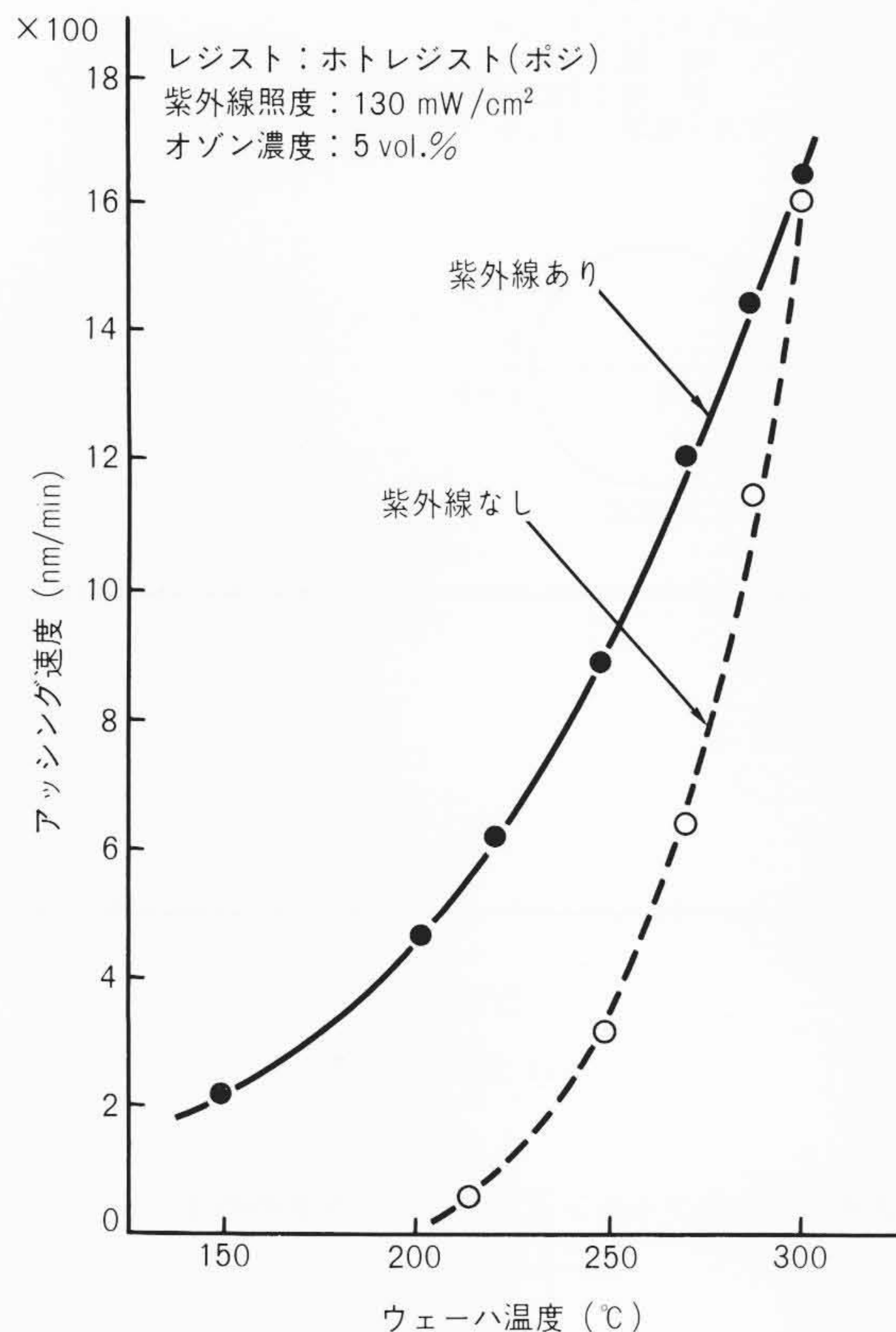


図3 6インチ(150 mm)ウェーハ対応光アッシング装置のアッシング特性 250℃で900 nm/minのアッシング速度があり、処理室を2台搭載していることから60枚/hのスループットを確保できる。

量産工程に適用されている。今までは、スループット重視の観点からバッチ式のプラズマアッシング装置が使用されていたが、このようなダメージを低く抑えたい工程から優先的に光アッシング装置が使用されており、他の工程にも広がりつつある。一方、大気圧処理でメンテナンスが容易であるというメリットから、配線工程など、一般のアッシング装置として使用されている例も多くみられる。

3.2 アッシング速度

アッシング速度と処理温度の関係を、6インチウェーハ対応光アッシング装置の例として図3に示す²⁾。処理温度が250℃のとき、アッシング速度は約900 nm/minである。レジスト厚さを一般的な1,000 nmとした場合、本装置は処理室を2台搭載していることから60枚/h(従来機40～50枚/h)のスループットを確保でき、枚葉式の量産機として十分なスループットを持っている。

紫外線を使用しないでオゾンだけでアッシングを行った場合(いわゆるオゾンアッシング)、300℃では光アッシングと同程度のアッシング速度が得られるが、低温域では極端にアッシング速度が低下する。これは300℃付近ではオゾンが熱によって分解するため、十分な励起酸素原子を生成するが、低温域では熱分解が進行せず励起酸素原子が不足するためである。

光アッシングは、オゾンアッシングと比較して処理温度依存性が小さく、これが光(紫外線)の効果である。

3.3 ダメージ評価

以下のとおり光アッシングの低ダメージ性を確認している。

3.3.1 チャージアップ²⁾

チャージアップの程度を知るため、MNOS(Metal Nitride Oxide Semiconductor)構造のキャパシタのフラットバンド電圧のシフト量を測定した結果を図4に示す。プラズマアッシングの場合、フラットバンド電圧のシフトが大きく、かつウェーハ上の位置によって変化しているが、光アッシングの場合、フラットバンド電圧のシフトはほとんどなく、ウェーハ上の位置にも依存していないと言える。このことから、原理上十分予測されることではあるが、チャージアップがないことが実証された。

3.3.2 可動イオン汚染

レジスト中にはナトリウムなどの不純物が入っており、これがアッシング中に素子内に入り、可動イオンとなる。この可動イオンをTVS(Triangular Voltage Sweep)法³⁾で測定した結果、可動イオン密度は、プラズマアッシングでは $10^{12}/\text{cm}^2$ と大きい、光アッシングでは $10^9/\text{cm}^2$ (TVS法の測定限界)以下と小さく低ダメージであると言える²⁾(図5参照)。このナトリウムなどの素子中への侵入は、ウェーハがチャージアップすると多くなることがわかっており、チャージアップのない光アッシング方式が有利であることが実証された。

なお、フラットバンド電圧のシフト量から可動イオン密度を測定する方法で、処理温度を150～300℃の範囲で測定したところ、先の測定と同様に可動イオン汚染がほとんど起こっていないことを確認している⁴⁾。

3.3.3 重金属汚染

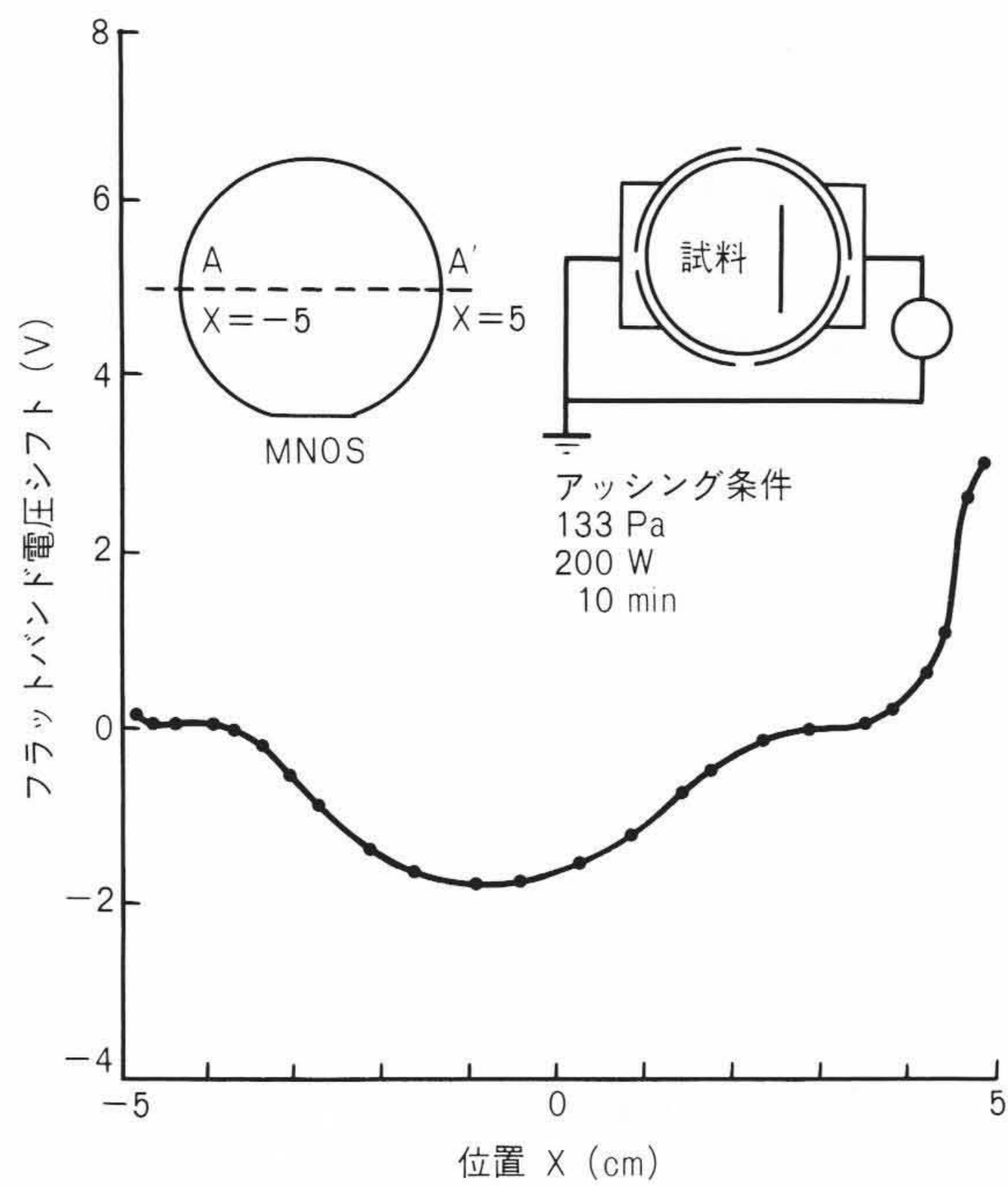
レジスト中には鉄などの重金属が不純物として入っており、これがアッシング中に素子内に入り、重金属汚染となる。この重金属も荷電粒子によって素子内に打ち込まれることが明らかになっており⁵⁾、荷電粒子が存在しない光アッシングでは、プラズマアッシングに比較して重金属汚染は少ないと言える。

3.3.4 少数キャリアのライフタイム⁴⁾

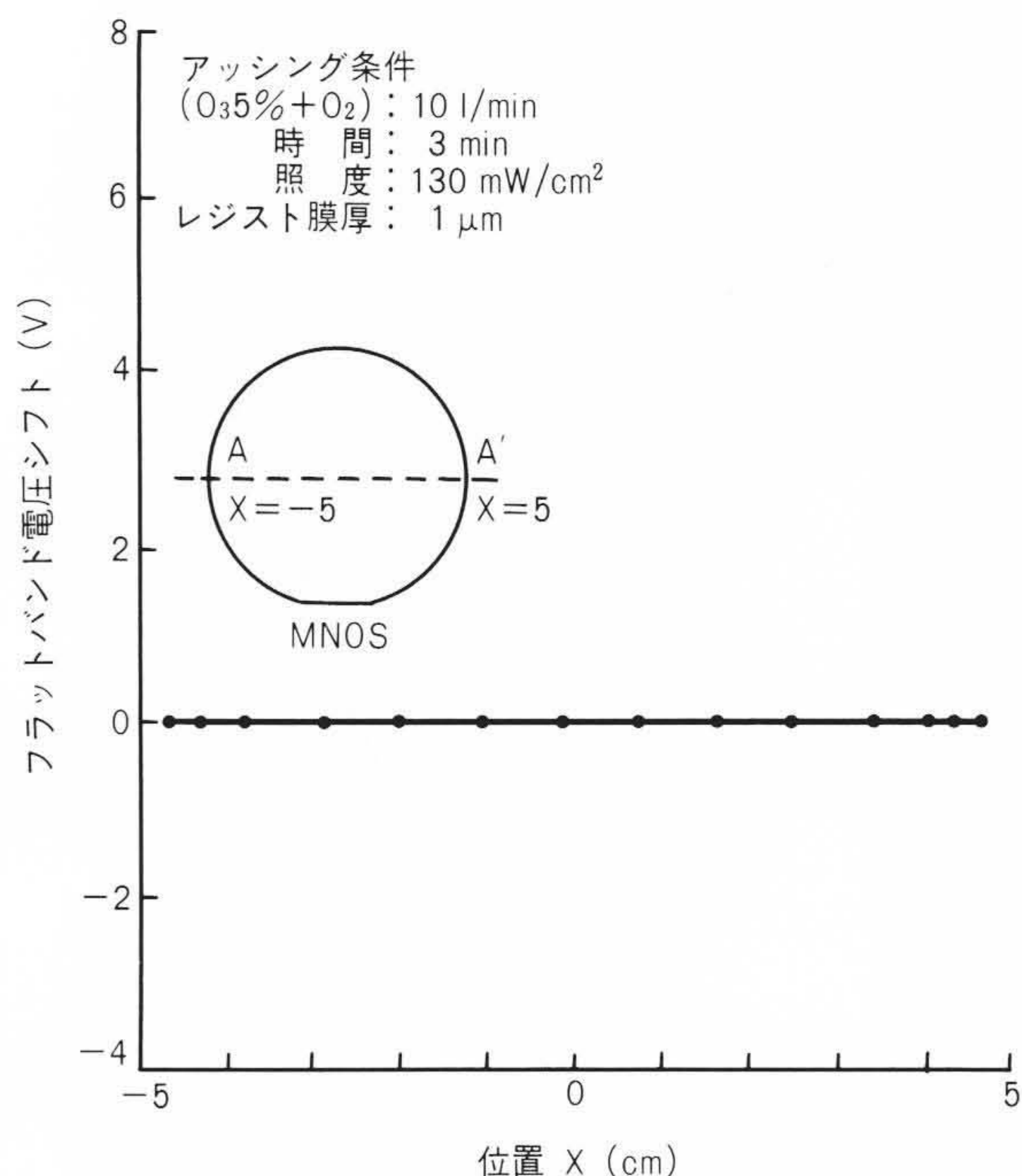
ウェーハの清浄度の評価法として基板中の少数キャリアのライフタイムの測定がある。アッシングは何回も繰り返して行われる工程であるため、この繰り返しの影響を調べた結果を図6に示す。プラズマアッシングでは、アッシング回数を追うごとにライフタイムが短縮しているが、光アッシングではまったく短縮せず、ウェーハが清浄なことを示している。

3.3.5 UV光によるダメージ

UV光によるダメージは現在のところ検出されていない。今後、プロセスの微細化に向けて評価を続けていく所存である。



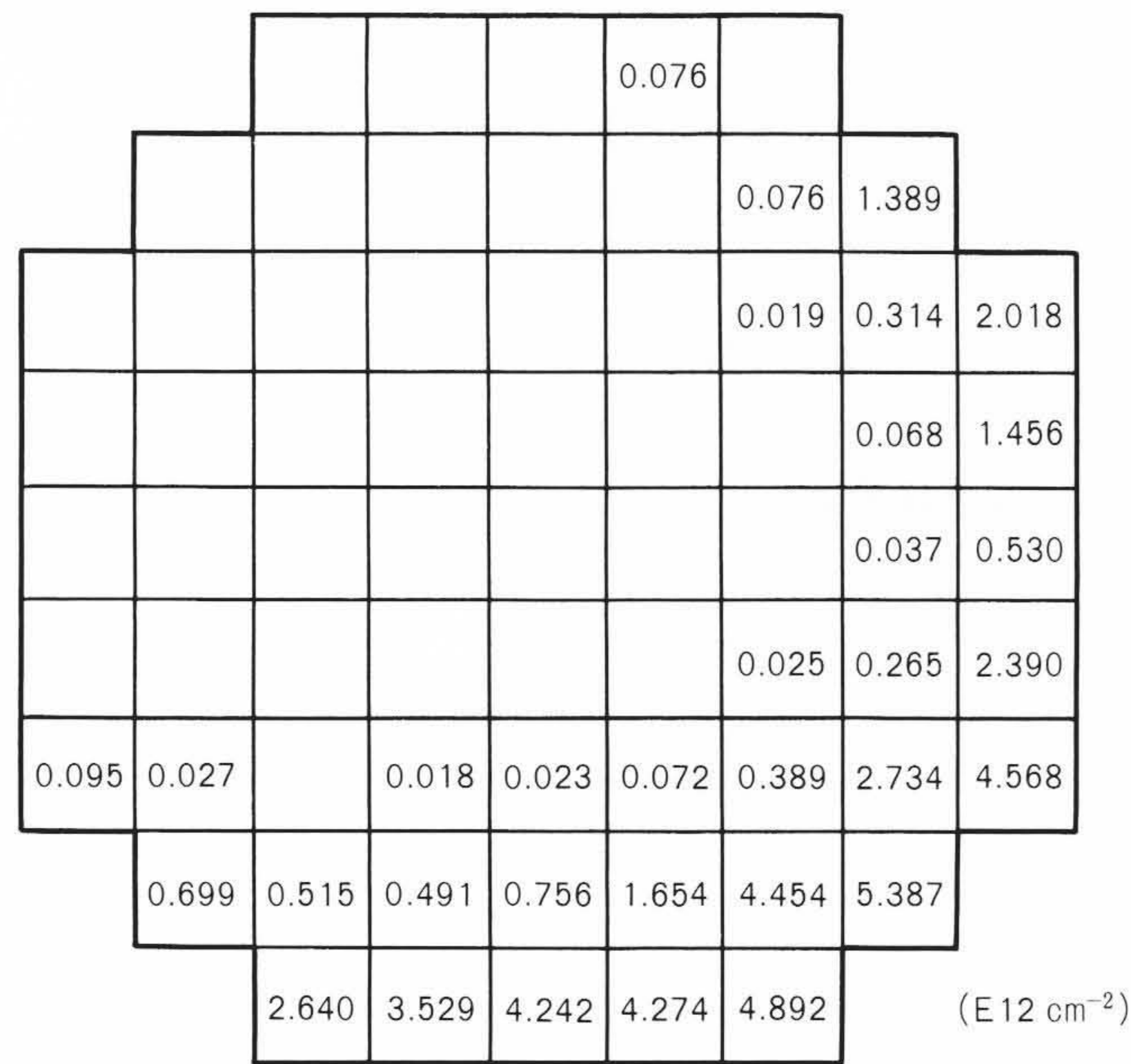
(a) プラズマアッシング



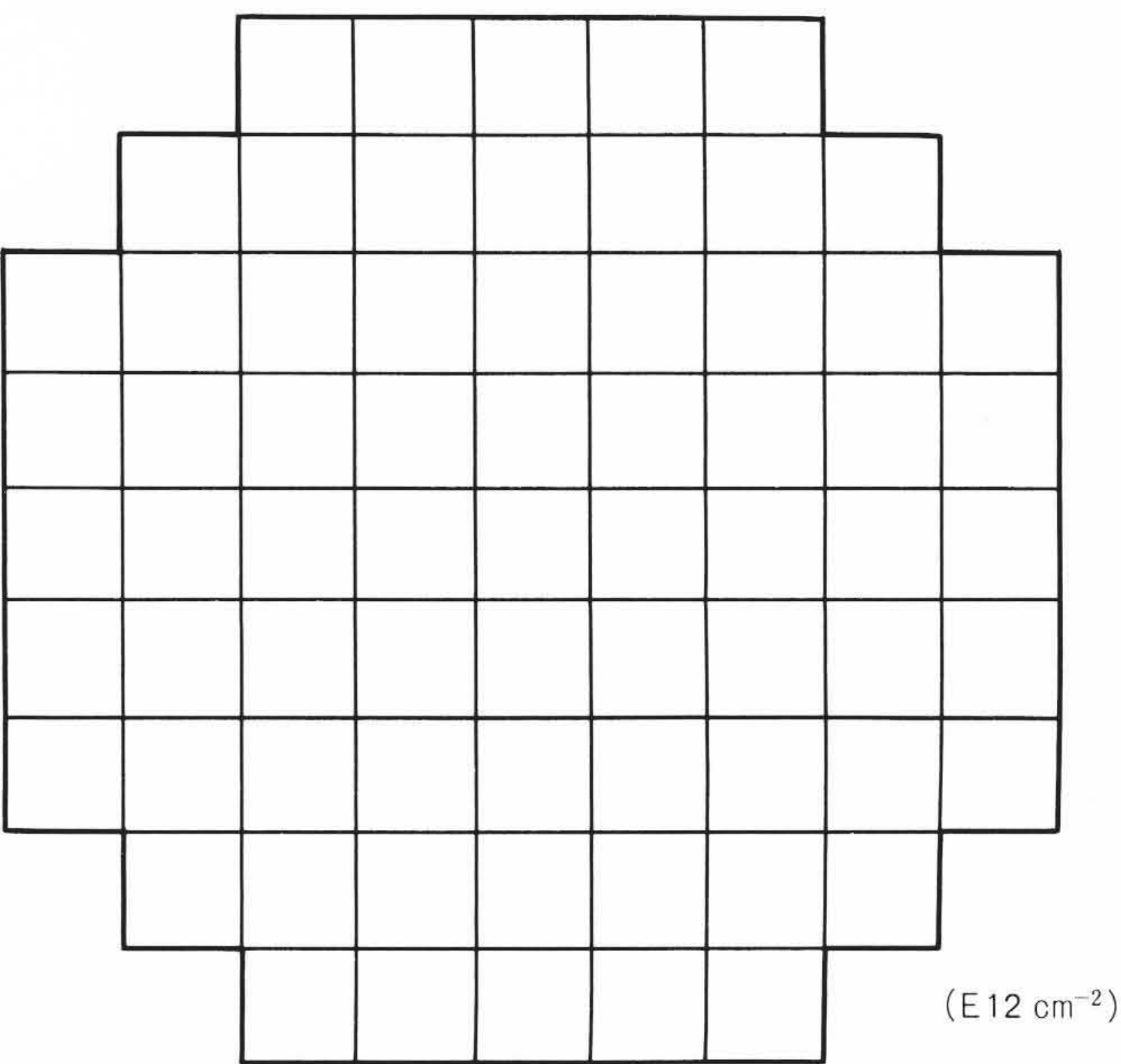
(b) 光アッシング

注：略語説明 MNOS (Metal Nitride Oxide Semiconductor)

図4 フラットバンド電圧のシフト プラズマアッシングではシフトが大きい、光アッシングではシフトがきわめて小さく、チャージアップがないことを示している。



(a) プラズマアッシング



注：空白部は0.000E12cm⁻²を表す。
(b) 光アッシング

図5 可動イオン密度のウェーハ面内分布 プラズマアッシングでは10¹²/cm²と大きい、光アッシングではTVS(Triangular Voltage Sweep)法の測定限界(10⁹/cm²)以下と小さく、低ダメージであることを示している。

4 16 MDRAM以降対応光アッシング装置の最新モデル

前述したとおり、16 MDRAM以降はウェーハサイズは8インチになるとみられている。8インチウェーハではその質量

から、カセットを作業者が持ち運んで装置にセットすることは困難であり、工程内搬送機によるカセットの自動ロード・アンロードが必須となる。また、より清浄な環境を生み出すため、作業者のクリーンルーム内への立ち入りを極力少なく

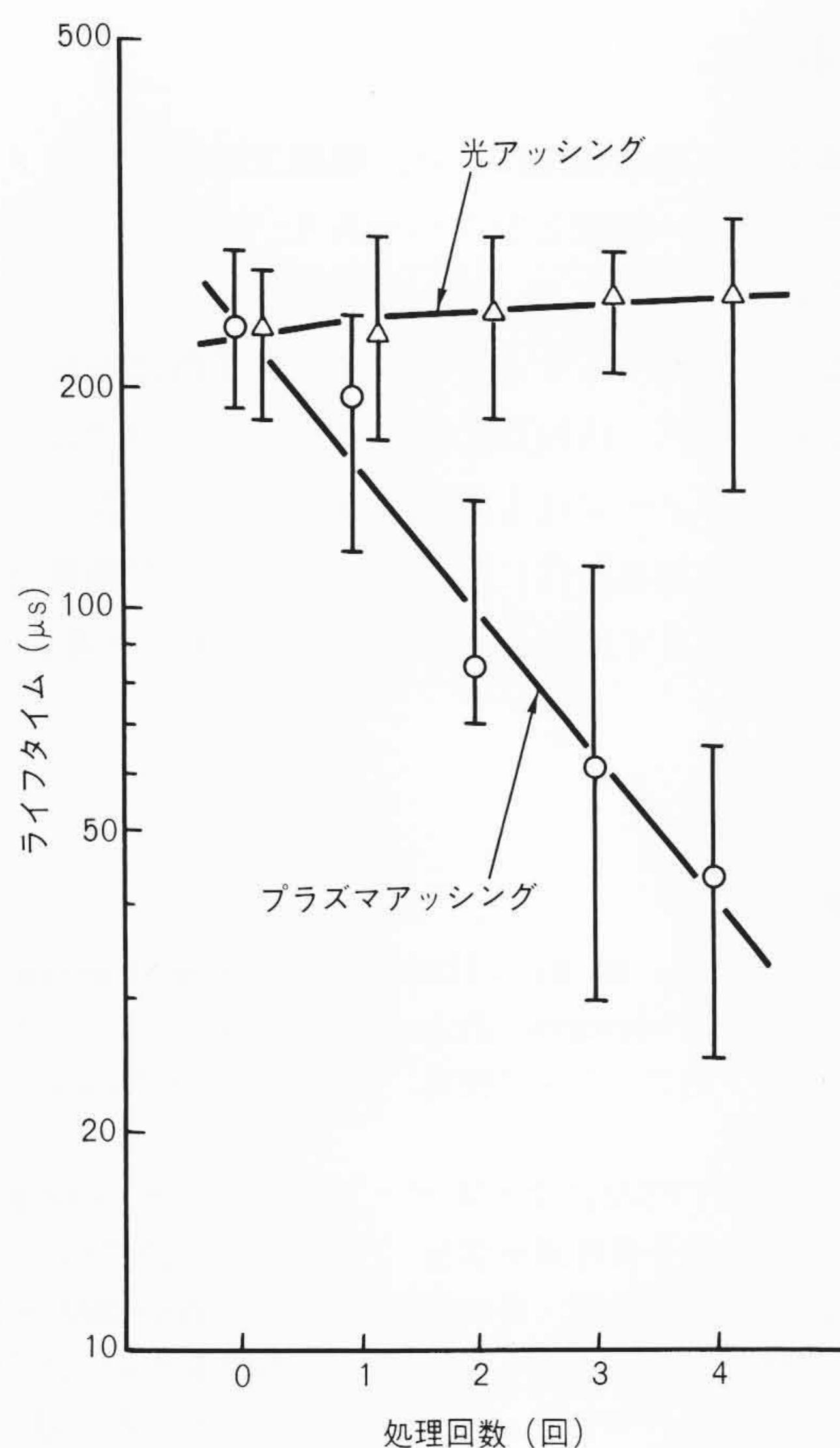


図6 少数キャリアのライフタイム プラズマアッシングでは、アッシング処理回数に従いライフタイムが短縮するが、光アッシングでは短縮せず、ウェーハが清浄なことを示している。

する必要があり、処理条件の設定や処理結果の入手は、ホストコンピュータと装置の間の通信で行うことも必須となる。このようないわゆるFA機能を持ち、8インチウェーハに対応した光アッシング装置の最新モデル(形式: UA-5200)の特長などを以下に述べる。

4.1 特 長

最新モデルのUA-5200は、以下に示す特長を持ち、16 MDRAM以降のデバイスに適用することができる。

(1) 8インチウェーハ

16 MDRAM以降のデバイスでは、8インチウェーハを採用するメーカーが多いと予想されることから、5～8インチに対応することが可能な構造とした。

(2) FA

今後、ウェーハカセットの自動搬送、ホストコンピュータの通信が必須であることから、これらに対応できるものとした。

(3) スルーザウォール構造

より清浄な環境が必要となり、クリーンルームの単位面積当たりのコストが高くなることから、クリーンルームの有効利用のためスルーザウォール構造とした。

(4) クリーン構造

より清浄な環境を実現するため、ウェーハカセットを非可



図7 UA-5200の外観 8インチ(200 mm)ウェーハ対応、カセット自動搬送対応、通信などの機能を持ち、16 MDRAM以降に対応した光アッシング装置である。

表1 UA-5200の仕様 16 MDRAM以降に対応した光アッシング装置の仕様を示す。

処 理 方 式	UV/O ₃ 方式
搬 送 方 式	カセット-カセット裏面吸着アーム方式(ベルトレス)
紫外線ランプ	140 W×8本, 波長185 nm, 254 nm
温度制御範囲	150～300 °C
ウェーハ径	125 mm, 150 mm, 200 mm
除 去 レ ー ト	1.0 μm/min*
スループット	50枚/h**
設置スペース	本体部1,000 mm×1,215 mm オゾン発生部600 mm×600 mm
オ プ シ ョ ン	紫外線モニタ, オゾンモニタ, 終点モニタ, 通信機能

注: * レジスト種類 [ホトレジスト(ポジ)]

** レジスト種類 [ホトレジスト(ポジ)厚さ1 μm]

動式にするなど発塵(じん)防止の構造とした。

(5) 低ダメージなど光アッシュ共通特長の継承

4.2 外観および仕様

UA-5200の外観を図7に、その仕様を表1に、アッシング速度を図8に示す。ウェーハカセット位置は床面から900 mmの高さにあり、またその周りに障害物がないことから、カセットの自動搬送に適した構造となっている。ウェーハの大口

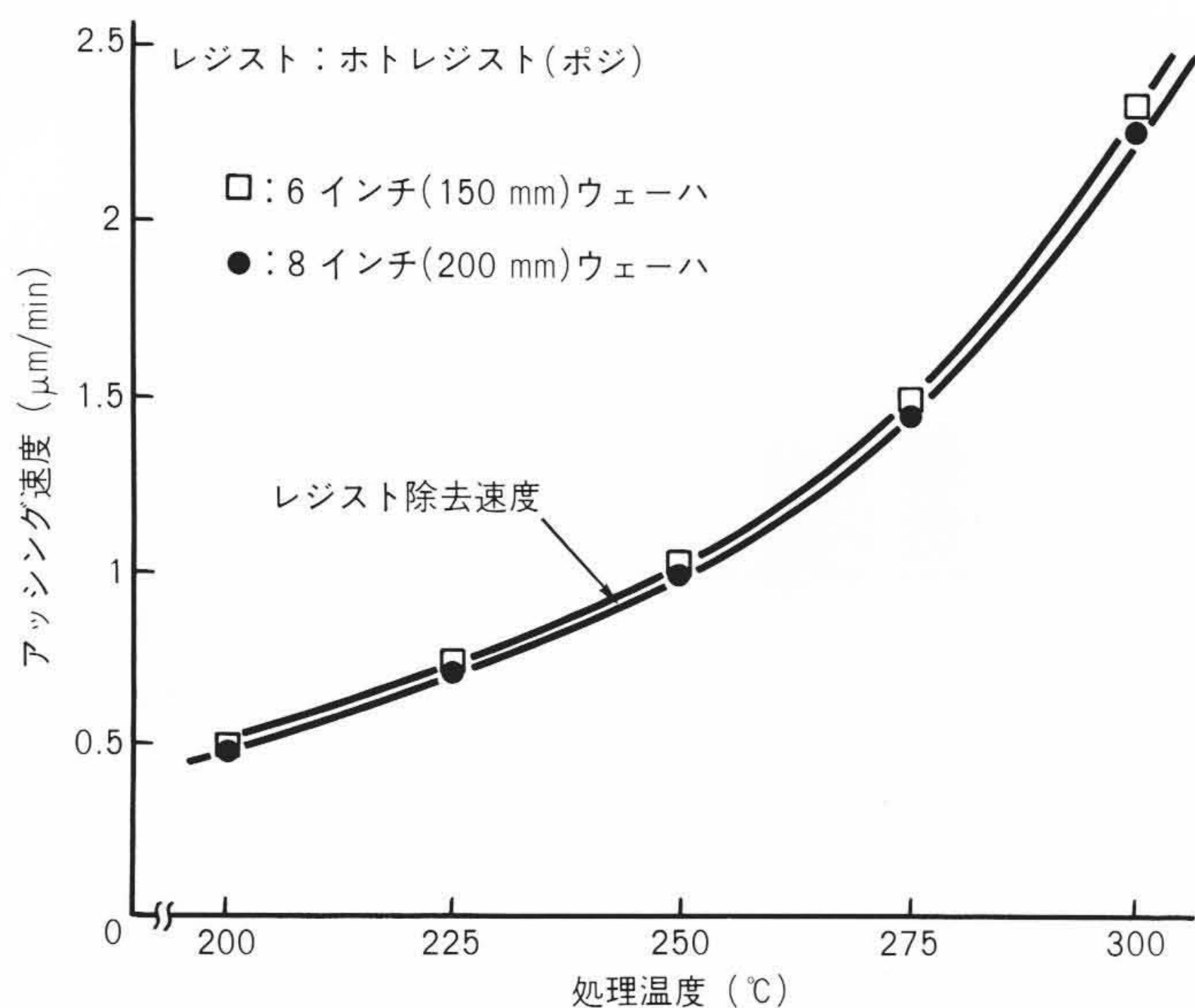


図8 最新モデルUA-5200のアッシング特性 16 MDRAM以降に対応した光アッシング装置のアッシング速度を示す。

径化にもかかわらず、処理温度250℃で1μm/minと6インチウェーハ機並みのアッシング速度を確保している。さらに、この最新モデルも処理室を2台搭載していることから、50枚/hの高スループットを実現している。

5 おわりに

半導体素子の高集積化に伴い、製造工程での低ダメージ化は避けて通れない問題となりつつあり、アッシング工程も例外ではない。

これまでは、ややもするとアッシング工程は安易に考えられがちであったが、16 MDRAM以降のデバイスでは、アッシング工程の低ダメージ化も必須の条件となってきた。

半導体素子の高集積化に伴い、光アッシング装置はその価値を増し、ますます適用範囲を広げていくものと考えられる。

参考文献

- 1) D. A. Bolon, et al.: Ultraviolet Depolymerization of Photoresist Polymers, Polym. Eng. Sci., 12, 109(1972)
- 2) 高梨, 外: 光アッシング技術, 月刊Semicon News, 12月号, p.47(1988)
- 3) 斉藤, 外: TVS法によるWゲートMOSプロセスの可動イオン汚染評価, 電子情報通信学会 SSD86-176(1987-3)
- 4) 渡辺, 外: 洗浄技術, 日立評論, 71, 5, 393~399(平1-5)
- 5) 品川, 外: ダウンフローアッシングにおけるチャージプロセス/チャージフリープロセス, 月刊Semiconductor World, 3月号, 153~159(1991)