

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

【 パワーデバイスの為の新素材成膜技術と成膜リアクターの開発 】

研究開発成果報告書

平成22年3月

委託者： 関東経済産業局

委託先： 株式会社 シー・ヴィー・リサーチ

目次

第一章 概要

1. 研究の背景および当該分野における研究開発動向	-----	4
2. 研究開発の高度化目標および技術的目標値	-----	5
3. 研究開発の具体的内容および成果		
3.1 スケジュール	-----	6
3.2 具体的内容、結果および成果一覧	-----	7
3.3 今後の技術開発課題一覧	-----	8
3.4 総括	-----	8
4. 研究体制		
4.1 研究開発体制	-----	9
4.2 事業管理体制	-----	9
4.3 管理員及び研究員	-----	10
4.4 経理担当者及び業務管理者の所属・氏名	-----	10
4.5 他からの指導・協力者	-----	10
5. 知的財産権の帰属・取得等	-----	10
6. 外部発表等の状況	-----	10

第二章 本論

1. 膜質の向上		
1.1 従来の成膜方法と膜質の現状	-----	11
1.2 ハードウェアの変更項目とその狙い	-----	14
1.3 新ハードウェアでの成膜結果	-----	17
1.4 膜質の向上に関する研究開発結果のまとめ	-----	23
2. メンテナンスコストの低減		
2.1 従来のリアクターメンテナンスの詳細説明	-----	24
2.2 変更項目とその狙い(試算)	-----	28
2.3 メンテナンスコスト低減の為の研究開発結果・データ	-----	31
2.4 研究開発結果のまとめ	-----	40
3. ランニングコストの低減		
3.1 ランニングコスト低減への対応(試算結果等)	-----	42
3.2 研究開発内容の説明	-----	42
3.3 研究開発結果・データの詳細	-----	45
3.4 研究開発結果のまとめ	-----	56

第三章 研究開発で明らかになった問題点と課題

1. 膜質の向上に関する問題点と課題	-----	57
2. メンテナンスコストの低減に関する課題	-----	57
3. ランニングコストの低減に関する課題	-----	57

本報告書で使用する専門用語等の解説

(1) Al₂O₃:酸化アルミニウム、アルミナ

アルミナは最も幅広い分野で使用されている多結晶体で組成式Al₂O₃で表されるアルミニウム酸化物である。結晶形態には、 α 、 γ 、 δ 、 θ があり、 γ アルミナは高比表面積を有するので触媒担体に利用され、構造用の多結晶焼結体は α アルミナであり、 α アルミナの焼結体は科学的に安定で、融点が高く機械的強度が高く、電気絶縁性が高いという、バランスの取れた優れた特性を有する。

(2) SiC:炭化シリコン

炭化ケイ素(炭化珪素)はケイ素の炭化物で黒色のセラミックである。化学式SiCは炭素(C)とケイ素(Si)が1:1の非酸化物でダイヤモンドの置換型構造(SiとCとが隣り合っている)をとる。すなわち、ダイヤモンドの炭素が1つおきにケイ素と入れ替わっている構造である。

SiC半導体の最大の特徴は、バンドギャップが3.25eVと従来のSi半導体に比べ3倍と広く、その分絶縁破壊に至る電界強度が3MV/cmと10倍程度大きい。また、熱伝導性、耐熱性、耐薬品性に優れ放射線に対する耐性もSi半導体より高いという特徴を持つ。従来のSi半導体より小型、低消費電力、高効率のパワー素子(パワーデバイス)高周波素子、耐放射線性に優れた半導体素子として期待される。このため、電力、輸送、家電に加え、宇宙、原子力分野でのニーズが高い。最近では、ハイブリッド自動車の半導体向けに、消費電力が小さく、耐熱温度が400℃とSi半導体に比べ高く、冷却する為のファンなどの冷却装置が必要無いという利点で注目されている。

(3) SiO₂:酸化シリコン

二酸化ケイ素(シリカ)といわれ、結晶状、非結晶状で存在する。純粋な二酸化ケイ素は無色透明だが不純物を含むものは不透明だったり、着色していたりする。溶融したものを冷やすと石英ガラスとなる。通常のSiO₂は、基本的にアモルファス(非晶質)構造を示す。アモルファスであることは、ゲート絶縁膜としての耐圧性やリーク電流などの電気的特性に優れた結果を有する。

(4) ミニバッチ:少量一括処理

一度に一枚の基板を処理する装置を枚様式装置という。それに対し一度に多数枚処理することが出来る装置をバッチ式という。現在の、SiC単結晶化合物半導体の基板サイズは3インチである。小口径基板の成膜処理能力の向上目標の達成のために複数枚を一度に処理する方法としてトレイ上に基板を並べ一括処理することをミニバッチと呼んでいる。

(5) IGBT:絶縁ゲートバイポーラトランジスタ

IGBTとは、Insulated Gate Bipolar Transistor の略で絶縁ゲートバイポーラトランジスタのことである。入力段にMOS-FETを出力段にバイポーラトランジスタを1つの半導体素子上に構成したもので、高耐圧、大電流に適した半導体である。応用例としてハイブリッド自動車、IH調理器、無停電電源装置などがある。パワーデバイスの雄であるIGBTは、改良を重ねて現在第六世代のIGBTが展開中である。進化を続けたIGBTもそろそろ特性限界が見え始めており、最近では次世代パワーデバイスとしてSiCやGaNなどのワイドギャップ半導体が注目を集めつつある。

(6) プリカーサ:前駆体(成膜ソース)

Precursor

化学反応で目的物質へ導く事のできる物質。その物質が生成し安定状態になる前の段階の準安定な物質のことをさす。本件では、液体ソースの有機金属材料を気化して用いる。

第一章 概要

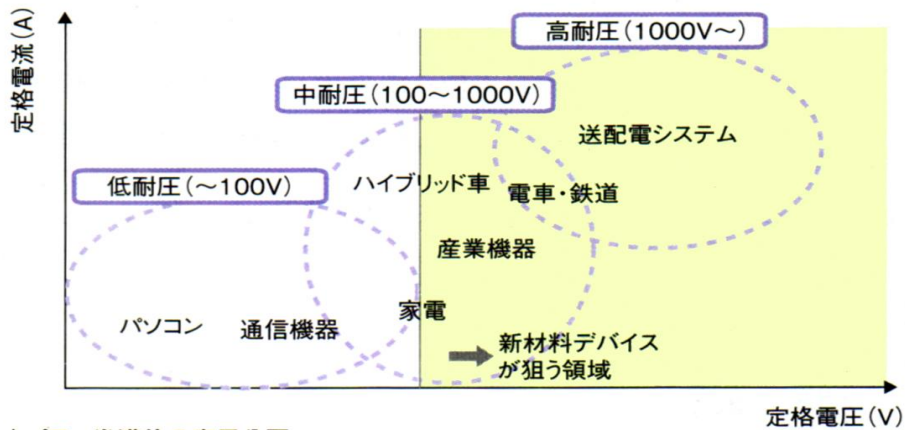
1. 研究の背景および当該分野における研究開発動向

近年急速に普及しているハイブリッド車(HEV)や電気自動車(EV)などパワーエレクトロニクスが必要とされる分野では、現在用いられているSiデバイスよりも電力変換時の損失が少なく、材料物性に優れた新素材基板であるSiCやGaN等の化合物半導体でのパワーデバイスの実用化が期待されている。化合物半導体パワーデバイスでは、これまでゲート絶縁膜にSiO₂(シリコン酸化膜)を用いていたが、(1)絶縁耐圧の改善(2)リーク電流の低減(3)電子移動度の向上の為、新素材絶縁膜材料としてAl₂O₃(アルミニウム酸化膜)等への移行が望まれている。

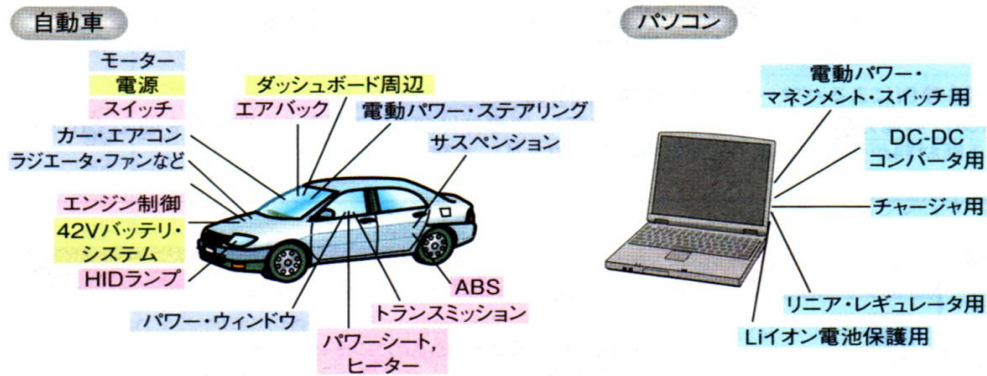
本研究開発に際して、Al₂O₃膜を新素材として選択した理由は、

- ① 比誘電率が、SiO₂の約2.2倍と高く、高耐圧膜が得られる。
- ② バンドギャップが広く汎用性が高い。
- ③ 低温成膜で良質の膜が得られる。

等であり、今後のパワーデバイスの性能向上に最適であると判断したからである。



(a) パワー半導体の応用分野

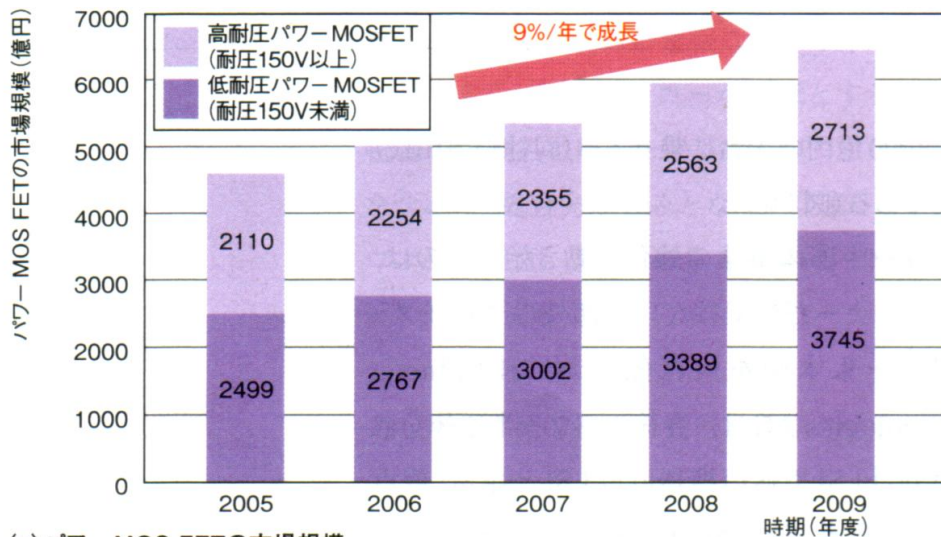


(b) 低耐圧パワー MOS FETの応用例

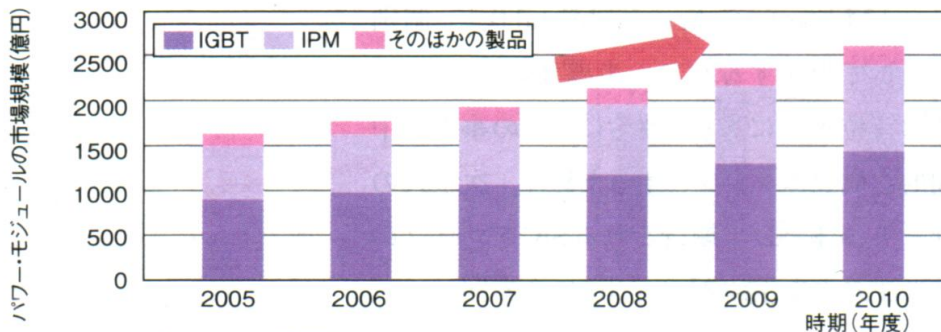
図4 ● 多岐にわたるパワー半導体の用途

パワー半導体は用途が広く、あらゆる機器で利用されている。(a)はロームのデータを基に本誌が作成。(b)はNECエレクトロニクスのデータを基に本誌が作成。

(NIKKEI MICRODEVICE 2008.2より)



(a) Power MOS FETの市場規模



(b) Power・モジュールの市場規模

(NIKKEI MICRODEVICE 2008.2より)

2. 研究開発の高度化目標および技術的目標値

本研究開発では、プレーナー型SiCパワーデバイスへの応用ではクリアできた目標値を、縦型トレンチ構造においても達成する事を第一の目標とする。

また同時に、量産現場での当該新素材成膜技術(ハードウェア及び成膜条件等のパラメータ)の利用に際して、メンテナンスコストの低減、ランニングコストの低減に対してもその解決策を示す為のデータの取得を第二の目標とする。

具体的な数値目標として各々以下の様に設定した。

(1) 膜質の向上に関して

縦型トレンチ構造において横型プレーナー構造で得られている性能と同等レベル、またはそれ以上の耐圧、ON抵抗値を達成する。目標値としては、各デバイスメーカーによって異なり、本研究では、NDA(秘密保持契約)に基づき各メーカーに良否の判定を仰ぐものとした。

(2) メンテナンスコストの低減に関して

現在、量産工場において稼働中のAl₂O₃成膜装置のリアクター構成部品の再生費用が約500万円である。これを、半分の250万円/年を目標値とし、そのための方策として、切削加工による再生をサンドブラスト処理、またはウエットサンドブラスト処理への変更(代替)の可能性を探る。

(3) ランニングコストの低減に関して

従来のミニバッチ処理での処理枚数を4枚から7枚にする事により約40%の処理能力の向上を目指す。そのために、大口径リアクターの特性の確認とプロセス条件の確立に向け、研究開発を実施する。

3.2 具体的内容、結果 およびその成果一覧

① 膜質の向上に関する研究開発		
実施項目	実施内容	研究開発結果
プロセスパラメータの最適化評価	トレンチ構造での側壁膜の膜質改善の為、下記条件にて成膜および電気特性の確認。 1) 従来条件 リファレンスとして 2) 酸化条件振り 3) ソース流量振り 4) ステージ温度振り	今回の条件振りの中では、2)の酸化条件振りの酸化時間を長くすることでI-V(耐圧)特性は改善された。(Planar 7V UP・Trench 10V UP)しかし、全てのサンプル(トレンチ構造)にて、ゲート膜として使用する上で重要な特性評価であるC-V特性にて正電圧側での蓄積が得られない結果となった。
デバイス構造の最適化評価	トレンチ構造での側壁膜の膜質改善をデバイス構造側よりアプローチしトレンチ構造角部をラウンドさせ電界集中防止と密着性の向上を狙い標準条件にて成膜を行い、構造差による電気特性の変化を確認した。	トレンチ角部のラウンドさせRを取ったことにより、C-V特性カーブは改善されているが、良好とは言えないレベルである。また、CV特性を繰り返し測定すると測定毎に正電圧方向に立ち上がりシフトする事が分かった。(プレーナー構造ではシフトが少ない) * シフト無しが好ましい。
バイアスハード追加による成膜パラメータの最適化成膜 (P-SiO2)	バイアスパワーの異方性によりトレンチ内部への引き込み効果にて側壁部膜質が改善され電気特性が向上すると考えバイアスパワー印加での評価を行う。但し、今回はバイアスハードの知見が無い為、トレンチ構造評価への前段階として安定したP-SiO2膜成膜を適応しベタ膜にて電気特性を評価する。	バイアスパワーを印加する事でIV特性が向上する事が分かった。(12% UP)しかし、マイナス要因として成膜レートが低下する事・CV特性評価での結果より素子に与える電氣的ダメージが確認できた。
バイアスハード追加による成膜パラメータの最適化成膜 (Al2O3)	バイアスパワーの異方性によりトレンチ内部への引き込み効果にて側壁部膜質が改善され電気特性が向上すると考えバイアスパワー印加での評価を行う。但し、今回は上記P-SiO2での結果を踏まえ、トレンチ構造評価への前段階としてAl2O3成膜(ベタ膜)にて電気特性を評価する。	サンプル作成は2010/03/5に行った。P-SiO2膜と同様にバイアスパワーを印加すると成膜レートが低下する事が分かった。電気特性結果については、現状 測定日程が未定の為、未測定。スケジュールが決まりたい測定を行う。

② メンテナンスコストの低減に関する研究開発		
実施項目	実施内容	研究開発結果
従来品での連続成膜	1枚あたり50nmのALO膜を連続143枚(約8um)成膜	平均成膜量: 483.4 Å ±1.1% 平均均一性: 2.89%
W/B品(新品)での連続成膜	1枚あたり50nmのALO膜を連続132枚(約7.6um)成膜	平均成膜量: 487.4 Å ±0.4% 平均均一性: 2.62%
W/B品(新品)での連続成膜	1枚あたり50nmのALO膜を連続143枚(約8um)成膜 上記項目の再現性確認	平均成膜量: 493.4 Å ±0.6% 平均均一性: 2.50%
W/B品(再生品)での連続成膜	1枚あたり50nmのALO膜を連続66枚(約6um)製膜	平均成膜量: 492.3 Å ±0.2% 平均均一性: 2.51%
W/Bにおける寸法変化確認	W/Bの各パーツにおける条件出しを実施し新品パーツとALO成膜後のW/Bにおける寸法変化を確認。	従来の切削再生での一回あたりの削れ量が0.2~0.3mmであったのに対してW/B再生は0.1mm以下である。又、成膜性能は同等であった。

③ ランニングコストの低減に関する研究開発		
実施項目	実施内容	研究開発結果
大口径リアクターの設計・製作	プロセスチャンバー内径を、 $\phi 357.5\text{mm}$ から $\phi 414.0\text{mm}$ に変更したものを製作。	従来装置と同様の成膜が可能なハードウェアを完成させた。リーク特性、プラズマ特性とも良好な結果が得られた。
大口径リアクター化改造作業	従来装置の搬送系に結合し成膜プロセスができる様にした。	
大口径リアクターでの成膜	$\phi 300\text{mm}$ トレイ上に $\phi 3$ インチウェハーを9枚載置し成膜を実施し、各ウェハーの成膜レート、均一性及び再現性を確認	成膜レート: $60.8 \text{ \AA}/\text{min}$ 面内均一性: 約1.5% バッチ内(9枚) Uniformity 3.80%

3.3 今後の技術開発課題一覧

① 膜質の向上に関する研究開発

本研究開発の延長線上にて、Bias印加成膜・高温成膜・High Power成膜を継続して評価する。又、今回の結果を踏まえてのデバイスメーカーとのディスカッションの中で Al_2O_3 自体の物性特性が有る為、高温測定での温度依存性が現れるのではと推測している。このことから、SiCとの親和性が有るAlOを中心とした新たな素材(AION AlN等：結晶化温度が高い素材)を検討・評価も並行して行っていく。

② メンテナンスコストの低減に関する研究開発

今回の研究開発では、再生パーツの洗浄手法の検討はおこなわなかったが、洗浄工程の簡略化を検討することで再生コストを後5%程度下げることが可能そうである。今後の検討課題のひとつである。

今回の研究に於いて、累積成膜量を $8\mu\text{m}$ 程度でデータどりを行ったが、ウェットブラスト加工再生を行ったパーツはダストが増えていなかった。今後実験を継続し、累積膜厚の限界値を見つける必要がある。切削加工による再生品での限界(ダストの規格値外)累積膜厚は $12\mu\text{m}$ で有る為使用限界を $10\mu\text{m}$ としてあるが、ウェットブラスト再生品の限界累積膜厚を増やせることが確認できれば、さらなるメンテナンスコスト低減が可能となる。

③ ランニングコストの低減に関する研究開発

9枚全ての分布傾向をそろえる為には、プロセスチャンバーの大口径化だけでは無くプラズマを発生させるアンテナ部やマッチングボックスの大口径化が必要である。そうする事により更なるランニングコストの低減や、デバイスウェハーの大口径化への一早い対応が可能になる。

3.4 総括

本研究開発により、上述の研究成果物を得る事ができた。

膜質の向上に関する研究開発は耐圧の向上等の一定の成果が得られたが、新たな問題点として、CV特性の劣化が浮上した。メンテナンスコストの削減及びランニングコストの低減については、ほぼ目的を達成することができ、デバイスの量産現場にて、新素材を用いた成膜装置を使用する為の第一段階はクリアできたと言える。

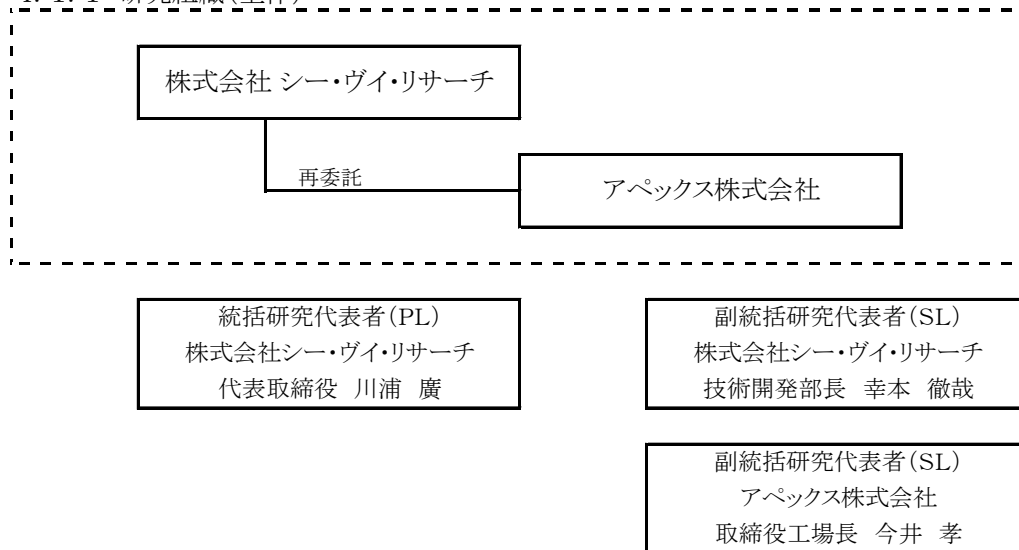
しかしながら、川下製造業者であるデバイスメーカーからの要求は毎日に高度化し膜質ではCV特性の改善・ランニングコスト低減では更なる改善が要求されている。

今後は、CV特性の改善に向け更なる膜質向上を目的とし成膜温度の高温化等の成膜パラメータの適正化を図る。又、ランニングコスト低減への目標を新たに設け更なる開発を行う予定である。

4. 研究開発体制

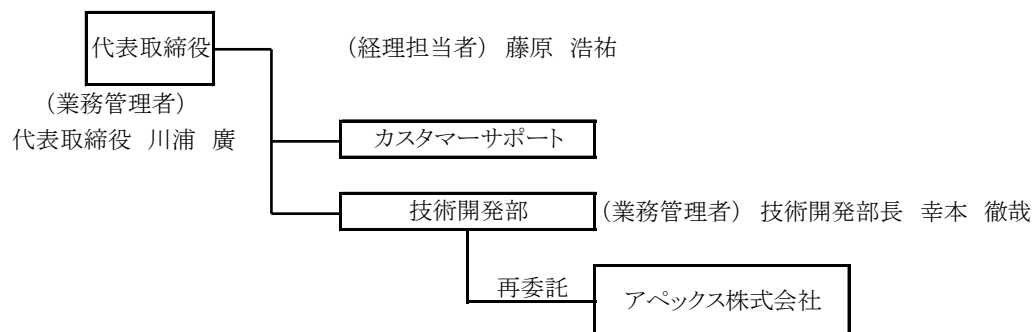
4.1 研究開発体制

4.1.1 研究組織(全体)

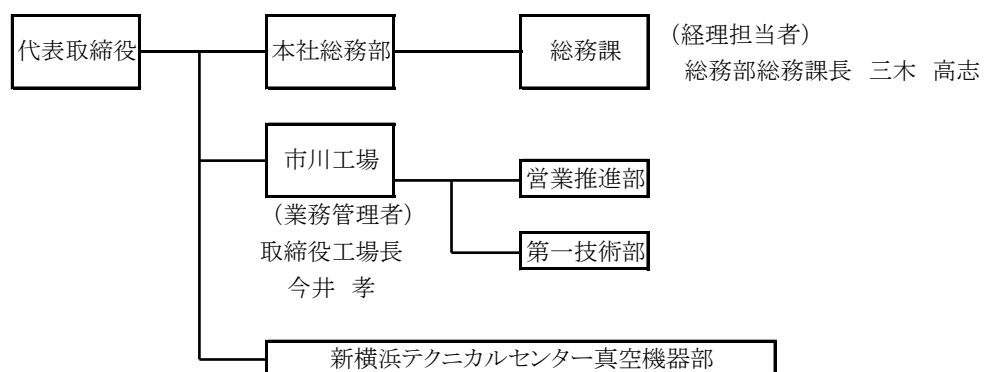


4.2 事業管理体制

4.2.1 事業管理者 (株式会社シー・ヴィ・リサーチ)



4.2.2 再委託先 (アペックス株式会社)



4.3 管理員及び研究員

【事業管理者】株式会社 シー・ヴィ・リサーチ

4.3.1 管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
川 浦 廣	代表取締役	④
藤 原 浩 祐	取締役	④
幸 本 徹 哉	技術開発部長	④

4.3.2 研究員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
川 浦 廣 (再)	代表取締役	①③
幸 本 徹 哉 (再)	技術開発部長	①②③
太 田 守	カスタマーサポート課長	①③
澤 田 周 一	技術開発部	①③
尾 芝 康 二	カスタマーサポート	②

【再委託先】アペックス株式会社

4.3.3 研究員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
小 峰 宏 邦	市川工場 第一技術部	①③
相 模 大 介	市川工場 第一技術部	①③
遠 藤 博 文	市川工場 第一技術部	①③
岡 村 圭 一	市川工場 第一技術部	①③
金 子 正 紀	市川工場 第一技術部	①③
田 上 雅 司	新横浜テクニカルセンター真空機器部	②

4.4 経理担当者及び業務管理者の所属・氏名

(事業管理者)

株式会社 シー・ヴィ・リサーチ

(経理担当者) 取締役 藤 原 浩 祐

(業務管理者) 代表取締役 川 浦 廣 、 技術開発部長 幸 本 徹 哉

(再委託先)

アペックス株式会社

(経理担当者) 総務部総務課長 三 木 高 志

(業務管理者) 取締役工場長 今 井 孝

4.5 他からの指導・協力者

開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
川 浦 廣	株式会社 シー・ヴィ・リサーチ 代表取締役	(委)PL
幸 本 徹 哉	株式会社 シー・ヴィ・リサーチ 技術開発部長	(委)SL
今 井 孝	アペックス株式会社 取締役工場長	SL
松 本 泰 史	アペックス株式会社 営業推進部 部長	

5. 知的財産権の帰属・取得等

特許等の出願なし

6. 外部発表等の状況

無し

第二章 本論

1. 膜質の向上に関する研究開発

1-1 従来の成膜方法と膜質の現状

従来、SiCパワーデバイスではゲート絶縁膜にSiO₂(シリコン酸化膜)を用いていたが、(1)絶縁耐圧の改善 (2)リーク電流の低減(3)電子移動度の向上の為、新材料として高誘電率絶縁膜Al₂O₃等への移行が望まれている。

上記要請に応えるべく良質のAl₂O₃膜のプラズマ成膜に取り組み、次世代のプレーナー型SiCパワーデバイスへの応用ではまだ問題は残るが実用的な結果が得られた。

しかし、次々世代の縦型トレンチ構造への応用では、プレーナータイプのプロセス条件の適応ではこれまで良い結果が得られていない。本研究開発では、縦型トレンチ構造において横型プレーナー構造で得られている性能と同等レベルまたは、それ以上の性能向上を目指す。 <<表1 1-1-01>> 参照

1- 1-1 考えられる問題点

プレーナー構造で得られた電気特性がトレンチ構造で得られない理由について

- 1) トレンチ構造 側壁の下地(SiO₂)との密着性(界面状態)が悪い為。
- 2) トレンチ構造 側壁に成膜されるAl₂O₃の膜質自体が悪く、平面部への成膜と差が生じる為。
- 3) トレンチ構造 角部の電界集中によるI-V劣化の為。

表1 1-1-01 熱SiO₂ vs Al₂O₃(CVR成膜)比較

		Data	電気特性 (I-V特性)	温度依存性	移動度
熱SiO ₂	Planar	1-1-2	Data_1-2-01 △	◎	△
	Trench	1-1-2	Data_1-2-02 △	◎	△
Al ₂ O ₃	Planar	1-1-3	Data_1-3-01 ○	▲	○
	Trench	1-1-3	Data_1-3-02 △	▲	-

* EOT換算にてSiO₂とSiO₂+AlOをの容量膜厚を合わせる。

1-1-2 従来のSiO₂(40nm)の絶縁耐圧データ・移動度データ

絶縁耐圧データ

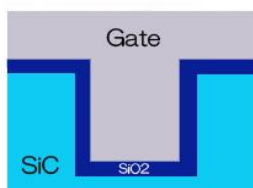
温度特性

(R.T. - 300°C)



Data_1-2-01 インプラ 無

	10V		20V		30V		破壊電圧(V)
	Current (A)	Leakage (A)	Current (A)	Leakage (A)	Current (A)	Leakage (A)	
RT	8.50E-10	A	8.50E-10	A	1.00E-10	A	45V
100°C	8.50E-10	A	8.50E-10	A	1.00E-10	A	45V
200°C	5.00E-10	A	5.00E-10	A	1.00E-10	A	45V
300°C	2.00E-10	A	2.00E-10	A	1.00E-10	A	42V



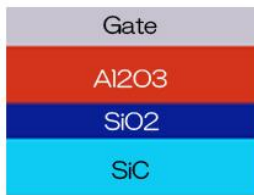
Data_1-2-02 インプラ 有

	10V		20V		30V		破壊電圧(V)
	Current (A)	Leakage (A)	Current (A)	Leakage (A)	Current (A)	Leakage (A)	
RT	8.50E-10	A	8.50E-10	A	2.00E-09	A	45V
100°C	8.50E-10	A	8.50E-10	A	1.50E-09	A	45V
200°C	5.00E-10	A	5.00E-10	A	1.00E-09	A	45V
300°C	2.00E-10	A	2.00E-10	A	5.00E-08	A	44V

1-1-3 SiO₂+CVR_AlOの絶縁耐圧データ ・ 移動度データ (アニール 無し)

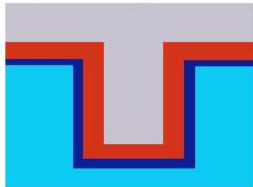
絶縁耐圧データ

温度特性 (R.T. - 300°C) Data_1-3-01 インプラ 無



	10V		20V		30V		破壊電圧 (V)
RT	8.00E-10	A	8.50E-10	A	2.00E-10	A	80V
100°C	8.00E-10	A	8.00E-10	A	1.00E-09	A	70V
200°C	7.00E-10	A	7.00E-10	A	5.00E-09	A	63V
300°C	1.00E-10	A	1.00E-09	A	4.00E-08	A	50V

Data_1-3-02 インプラ 有

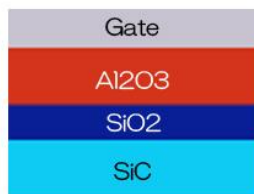


	10V		20V		30V		破壊電圧 (V)
RT	2.00E-10	A	2.00E-10	A	8.00E-09	A	58V
100°C	2.00E-10	A	2.00E-10	A	5.00E-09	A	50V
200°C	1.50E-10	A	1.50E-10	A	5.00E-09	A	43V
300°C	7.00E-09	A	1.00E-09	A	1.00E-08	A	35V

1-1-4 SiO₂+CVR_AlOの絶縁耐圧データ (1000°C アニール 有り)

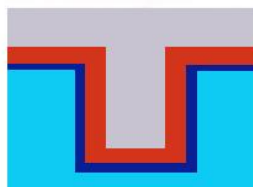
絶縁耐圧データ

温度特性 (R.T. - 300°C) Data_1-4-01 インプラ 無



	10V		20V		30V		破壊電圧 (V)
RT	5.00E-10	A	2.00E-10	A	1.00E-10	A	78V
100°C	5.00E-10	A	6.00E-10	A	6.00E-10	A	73V
200°C	5.00E-10	A	6.00E-10	A	6.00E-10	A	61V
300°C	5.00E-10	A	6.00E-10	A	6.00E-10	A	54V

Data_1-4-02 インプラ 有



	10V		20V		30V		破壊電圧 (V)
RT	-	A	-	A	-	A	-
100°C	5.00E-10	A	6.00E-10	A	1.00E-09	A	38V
200°C	5.00E-10	A	6.00E-10	A	8.00E-08	A	32V
300°C	5.00E-10	A	9.00E-09	A	1.00E-08	A	32V

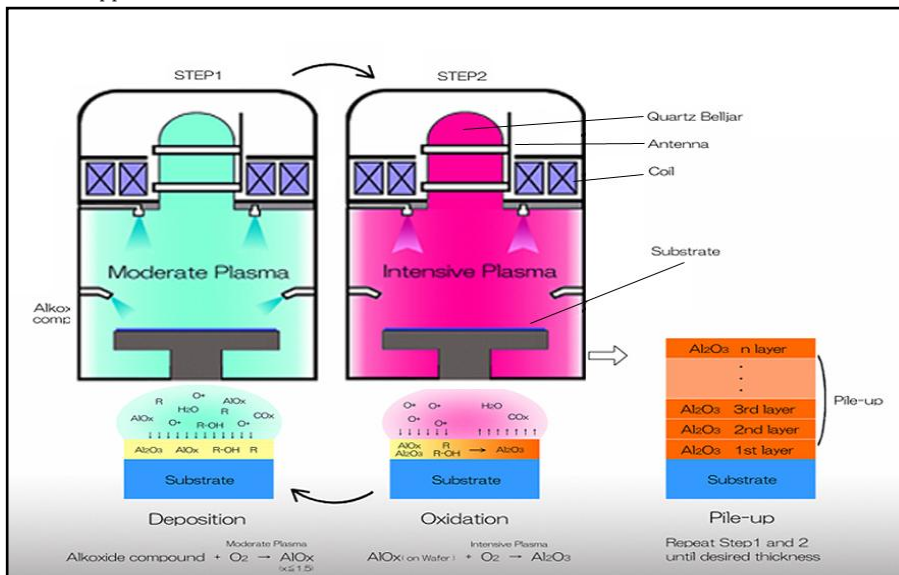
1-2 成膜プロセスパラメーター ・ デバイス構造 ・ ハードウェアの最適化とその狙い

弊社AlO膜はLLDの成膜手法により、Fe-RAMの水素バリア膜・キャパシター膜への応用として開発し実績をつんできたが、ゲート膜への応用はパワーデバイス向けが始めてであり、成膜方法・成膜条件の更なる最適化が必要と考え、下記1-2-1 → の問題点への アプローチ項目を考え評価を行った。 (LLD : 図1 参照)

1-2-1 問題点へのアプローチ ・ 評価項目

- 1) プロセスパラメータの最適化評価 (Al₂O₃) → 詳細 : 1-2-2
 - 更なる膜質の向上への対応
 - トレンチ構造側壁の密着性 ・ 膜質劣化への対応
- 2) デバイス構造の最適化評価 (Al₂O₃) → 詳細 : 1-2-3
 - トレンチ構造 角部の電界集中による電気特性劣化への対応
- 3) ハードウェア(Bias Stage)追加によるパラメータの最適化評価 (P-SiO₂) → 詳細 : 1-2-4
 - Bias Powerの異方性引き込み効果にてトレンチ内部の更なる膜質の向上への対応
- 4) ハードウェア(Bias Stage)追加によるパラメータの最適化評価 (Al₂O₃) → 詳細 : 1-2-5
 - Bias Powerの異方性引き込み効果にてトレンチ内部の更なる膜質の向上への対応

図1 LLD (Layer-by-Layer Deposition) (弊社開発の成膜手法)
 Patent AppliCation# P2002-086535



1-2-2 プロセスパラメータの最適化評価 詳細 (サンプリング 2009/11/16)

- ・ 評価内容 : 下表の4条件にて成膜サンプルを製作し電気特性評価を行う。
- ・ サンプル詳細 : SiC基板
- ・ 膜構造 : 下地SiO₂ 上への 各条件AlO 成膜
- ・ 評価項目 電気特性(C-V・I-V)



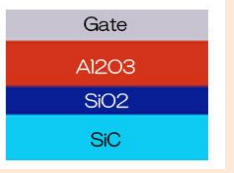
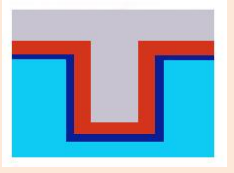
表 2. 2-2-01 (サンプリング条件 詳細)

条件No.	項目・条件	詳細・狙い
①	標準条件(STD)	標準条件として各条件振りのリファレンスとする。また、前回評価の再現性確認としてサンプリングを行う。
②	酸化条件振り 酸化時間 STD sec → 6倍 sec	弊社AlO成膜プロセスとしてレイヤー毎にデポプロセスと酸化プロセスを交互に繰り返し所定の膜厚にする手法(LLD)において酸化不足を起こすと急激に膜質が劣化する事から標準条件の6倍の酸化量での成膜を行い膜中不純物の除去・側壁部の膜質改善を目指し過酸化状態にてサンプリングを行う。 * LLD : 図1参照
③	ソース条件振り ソース流量 STD mg/min → 50% Down mg/min	②と同様にデポプロセスにてソース流量を増加させると成膜分布・膜質が劣化する事から ソース流量を約50%減らし成膜スピードを落とすことで平面部・側壁部の膜質が向上すると考えサンプリングを行う。
④	成膜温度条件振り ステージ温度設定 STD °C → 25% Down °C	②と同様にデポプロセス・酸化プロセス共に処理温度が高ければ良質な膜が成膜され则认为される。ステージ温度を変化させ成膜温度影響の傾きを計る為、サンプリングを行う。 (現状、STD条件が本ハードの上限である為、低温側に条件を25%ダウンさせた温度にてサンプリングを行う。)

1-2-3 デバイス構造の最適化評価 詳細 (サンプリング 2009/11/17)

- ・ 評価内容 : 下表の様にトレンチ形状を変化させ、AlO成膜を行い電気特性評価を行った。
また、通常トレンチでの成膜温度依存性も取得する為、300°Cにて成膜を行った。
- ・ サンプル詳細 : SiC基板
- ・ 膜構造 : 下地SiO₂ 上への 各条件AlO 成膜
- ・ 評価項目 電気特性(C-V・I-V)

表 3. 2-3-01 (サンプリング条件 詳細)

条件No.	Planar構造	Trench構造	詳細・狙い
① R-トレンチ 成膜温度 400 °C			プレーナー型との違いとして溝の上部・下部の段差(角)が有る。この部分の角の成膜状態及び電界の集中が電気特性に影響していると考えられる為、デバイスメーカーの協力を得てサンプリング・評価を行う。
② 通常トレンチ 成膜温度 300 °C			表2 2-2-01 ④条件の再現性を取得する為、サンプリングを行う。

1- 2-4 ハードウェア (Bias Stage) 追加によるパラメーターの最適化評価 P-SiO₂ (2010/02/18~02/19)

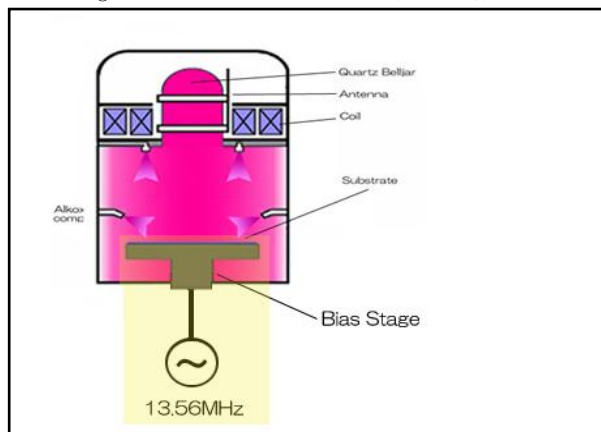
- ・ 評価内容 : 下表4. 2-4-01 の5条件にて成膜サンプルを製作し電気特性評価を行う。
- ・ サンプル詳細 : n-Si基板 φ6inch (φ8inch → φ6inchトーレー使用)
- ・ 膜構造 : ベアSi 各条件P-SiO₂ (50nm)成膜 注1)
- ・ 評価項目 電気特性(C-V・I-V)

注1) 本評価でBiasハードを使用する事が初めてである為、Bias Power印加でのハード・成膜プロセスでの挙動が予測出来ない。この事から安定した特性で知見の有るP-SiO₂膜を使用しBias Powerの評価を行う。P-SiO₂での結果確認後、Al₂O₃にて同様の評価を行う。又、構造及び測定は成膜後に後加工が必要なMOSCAPA構造を使用せず、ベタ膜での簡易測定を行う。

表 4. 2-4-01 (サンプリング条件 詳細)

条件No.	成膜条件	詳細・狙い
①	P-SiO ₂ 標準成膜条件	標準条件として各条件振りのリファレンスとしてサンプリングを行う。
②	標準条件+Bias100W	Bias Powerの異方性によりトレンチ内部への引き込み効果にて側壁部膜質が改善され電気特性が向上すると考え、標準条件にてBias Powerを100W印加しサンプリングを行う。
③	標準条件+Bias300W	②と同様に標準条件にてBias Powerを300W印加しサンプリングを行う。
④	Hi-Rate条件+Bias0W	③にて成膜レートが約1/3に低下することからHi-Rate条件のリファレンスとしてサンプリングを行う。
⑤	Hi-Rate条件+Bias300W	④のHi-Rate条件にBias Powerを300W印加場合のサンプリングを行う。

図2 Bias Stage 構造図 ・ プロセスレシピ (P-SiO₂成膜プロセス PE-CVD : 1Step Depo)



P-SiO ₂ 標準プロセス条件		
RF Power	---	W
Pressure	---	mTorr
Gas (O ₂)	---	sccm
Gas (N ₂)	---	sccm
ソースGas	---	sccm
Stage Temp.	---	°C
Coil Ratio	---	A/A

1- 2-5 ハードウェア (Bias Stage) 追加によるパラメーターの最適化評価 Al₂O₃ (2010/03/05)

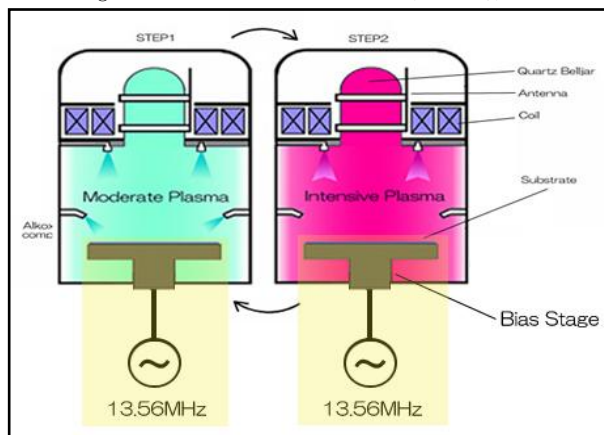
- ・ 評価内容 : 下表5. 2-5-01の3条件にて成膜サンプルを製作し電気特性評価を行う。
- ・ サンプル詳細 : n-Si基板 φ6inch (φ8inch → φ6inchトーレー使用)
- ・ 膜構造 : ベアSi 各条件Al₂O₃2 (70nm)成膜 注3)

注2) 注1)と同様に、後加工が必要なMOSCAPA構造を使用せず、ベタ膜での簡易測定を行う。

表 5. 2-5-01 (サンプリング条件 詳細)

条件No.	成膜条件	詳細・狙い
①	Al ₂ O ₃ 標準成膜条件	標準条件として各条件振りのリファレンスとしてサンプリングを行う。
②	標準条件+Bias100W	Bias Powerの異方性によりレンチ内部への引き込み効果にて側壁部膜質が改善され電気特性が向上すると考え、標準条件にてBias Powerを100W印加しサンプリングを行う。
③	標準条件+Bias300W	②と同様に標準条件にてBias Powerを300W印加しサンプリングを行う。

図3 Bias Stage 構造図・プロセスレシピ (Al₂O₃成膜プロセス LLD : 図1 参照)



AlO標準プロセス条件 (Depo Process)		(Oxidation Process)			
RF Power	---	W	RF Power	---	W
Pressure	---	mTorr	Pressure	---	mTorr
Gas (O ₂)	---	sccm	Gas (O ₂)	---	sccm
Gas (N ₂)	---	sccm	Gas (N ₂)	---	sccm
ソースGas	---	sccm	ソースGas	---	sccm
Stage Temp.	---	°C	Stage Temp.	---	°C
Coil Rario	---	A/A	Coil Rario	---	A/A

1.3 膜質の向上に関する研究開発 結果・データ

1-3-1 プロセスパラメータの最適化評価結果 (条件詳細 : 表 2. 2-2-01 参照)

1) 測定データ

- ・C-V特性評価 Planar 構造 ・ Trench構造 (構造 表6 3-1-01 参照)
- ・I-V特性評価 Planar 構造 ・ Trench構造 (構造 表6 3-1-01 参照)

表6 3-1-01 サンプル構造図

	Planar構造	Trench構造
SiO ₂ /Al ₂ O ₃		

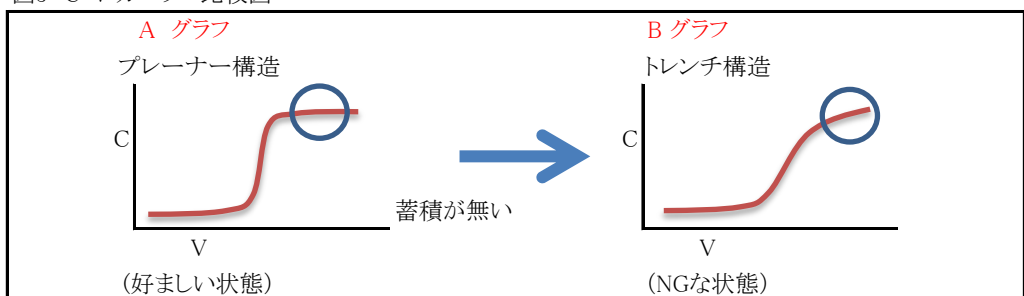
2) 結果・考察 *データ : 次ページ 取得データ(電気特性 C-V・I-V) 参照

表7 3-1-02 (結果・考察)

条件No.	項目・条件	結果・考察
①	標準条件 (STD)	前回までの結果とほぼ同様な値が得られ、再現性も良好であった。(但し、トレンチC-V 蓄積無し Data_3-1-02)
②	酸化条件振り STD sec → 6倍 sec	Data_3-1-03・3-1-04の通りI-V特性に関しては、プレーナー・トレンチともに改善されている様に見えるが、Data_3-1-02のトレンチのC-V特性については正電圧側での蓄積が得られない。
③	ソース条件振り STD mg/min → 50% Down mg/min	酸化条件振りと同様にトレンチ構造でのC-V特性にて正電圧側での蓄積が得られていない。また、トレンチのI-V特性ではカーブの立ち上がりも早く20Vまでとなり悪い結果となった。(Data_3-1-04)
④	成膜温度条件振り STD °C → 25% Down °C	STD条件が設定MAXである事から、傾向の取得の為、低温側での条件振りとなり、悪い結果が期待されたが、C-V特性はリファレンス(STD条件)と比較しても差ほど変わらない結果となった。但し、ソース条件振りと同様にトレンチI-V特性 NG (Data_3-1-04)

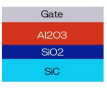
3) まとめ 今回の条件振りでは、デポプロセス後のオキサイドーションの時間を長くすることでI-V(耐圧)特性は改善されたが、ゲート膜として使用する上で重要なC-V特性にて正電圧側での蓄積が得られない事は全てのサンプル(トレンチ構造)において同様な結果となった。(Data_3-1-02)

図5 C-V カーブ 比較図

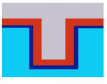


4) プロセスパラメータの最適化評価データ
(電気特性 C-V・I-V)

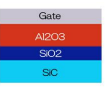
・C-V特性-Planar構造 Data_3-1-01

	標準条件(STD)	酸化時間増加	ソース流量減少	成膜温度変更
	CVカーブより+5Vから蓄積が見られ安定している。 状態: 図5 C-VカーブA グラフ	CVカーブより+5Vから蓄積が見られ安定している。 状態: 図5 C-VカーブA グラフ	CVカーブより+5Vから蓄積が見られ安定している。 状態: 図5 C-VカーブA グラフ	0Vからの立ち上がりがない だらかにCVカーブより +5Vから蓄積が見られ安 定している。

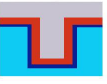
・C-V特性-Trench構造 Data_3-1-02

	標準条件(STD)	酸化時間増加	ソース流量減少	成膜温度変更
	CVカーブより+5Vから蓄積が見られない。 状態: 図5 C-VカーブB グラフ	CVカーブより+5Vから蓄積が見られない。 状態: 図5 C-VカーブB グラフ	CVカーブより+5Vから蓄積が見られない。 状態: 図5 C-VカーブB グラフ	CVカーブより+5Vから蓄積が見られない。 状態: 図5 C-VカーブB グラフ

・I-V特性-Planar構造 Data_3-1-03

	標準条件(STD)	酸化時間増加	ソース流量減少	成膜温度変更
	破壊電圧 : 80V Data_1-3-01インプラ無 と同等レベル (同一条件再現性有り)	破壊電圧 : 85V Data_1-3-01インプラ無 より 5V向上	破壊電圧 : 80V Data_1-3-01インプラ無 と同等レベル	破壊電圧 : 80V Data_1-3-01インプラ無 と同等レベル

・I-V特性-Trench構造 Data_3-1-04

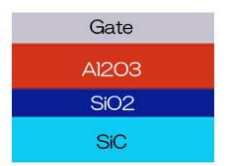

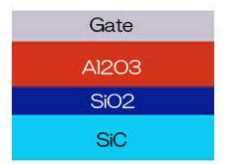
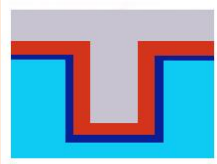
	標準条件(STD)	酸化時間増加	ソース流量減少	成膜温度変更
	破壊電圧 : 59V Data_1-3-02インプラ有 と同等レベル (同一条件再現性有り)	破壊電圧 : 78V Data_1-3-02インプラ有 より 20V向上	破壊電圧 : 20V Data_1-3-02インプラ有 とくらべ38V低下。	破壊電圧 : 33V Data_1-3-02インプラ有 とくらべ25V低下。

1-3-2 デバイス構造の最適化評価結果（条件詳細：表 2. 2-3-01 参照）

1) 測定データ

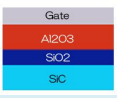
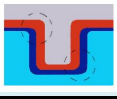
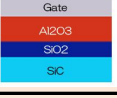
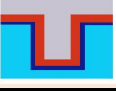
- ・C-V特性評価 Planar 構造 ・ Trench構造（構造 表8 3-2-01参照）
- ・I-V特性評価 Planar 構造 ・ Trench構造（構造 表8 3-2-01参照）

表8 3-2-01 サンプルMOSCAPA構造図

条件No.	Planar構造	Trench構造
① R-トレンチ 成膜温度 400℃		 Rを取りラウンドさせる
② 通常トレン 成膜温度 300℃		

2) 結果・考察

表9 3-2-02 結果・考察

条件No.	MOSCAPA構造	結果・考察
① R-トレンチ 成膜温度 400℃	 Planar 構造	トレンチ構造でのC-V特性が若干改善されている様に見える。(Data_3-2-01でセンター付近に片がでている件については、トレンチ加工の問題と思われる。I-V特性のプレーナーが低い値で切れている。(加工状の問題か?)
	 R-Trench 構造	
② 通常トレン 成膜温度 300℃	 Planar 構造	表6 3-1-01④での温度振り条件の再現性確認は、問題無いレベルと判断できる。トレンチのI-V特性が少し低めである。
	 STD Trench 構造	

- 3) まとめ 1-3-1の結果と同様にトレンチのC-V特性にて正電圧側での蓄積が得られていないが、トレンチ角部のRを取ったことにより、C-V特性が改善されている様に見える。
同一ポイントで繰り返しC-V測定する毎に正電圧方向に立ち上がりシフトしてしまう事が分かった。(但し、プレーナー構造はシフト量が少ない)

今回のR-トレンチ構造は通常の加工フローとは違う為、前例が無くデータの信頼性についてリスクが有ると考えられたが、Data_3-2-01でセンター付近に段が現れるなど、判断の難しいデータとなった。

4) デバイス構造の最適化評価データ
(電気特性 C-V・I-V)

・ C-V特性-Planar vs Trench

Data_3-2-01 前回条件との比較表

	表7 3-1-02 ①条件	①	②	表7 3-1-02 ④条件
トレンチ形状	通常(Ref.)	R付トレンチ	通常(Ref.)	通常(Ref.)
成膜温度	400℃	400℃	300℃	300℃
Planar MOSCAPA	CVカーブより+5Vから蓄積が見られ安定している。 図5 C-VカーブA グラフ 	CVカーブより+5Vから蓄積が見られ安定している。 図5 C-VカーブA グラフ 	CVカーブより+5Vから蓄積が見られ安定している。 図5 C-VカーブA グラフ 	CVカーブより+5Vから蓄積が見られ安定している。 図5 C-VカーブA グラフ 
Trench MOSCAPA	CVカーブより+5Vから蓄積が見られない。 図5 C-VカーブB グラフ 	CVカーブより+5Vから蓄積が見られない。 OV付近に段差が発生 図5 C-VカーブB グラフ 	CVカーブより+5Vから蓄積が見られない。 図5 C-VカーブB グラフ 	CVカーブより+5Vから蓄積が見られない。 図5 C-VカーブB グラフ 

・ I-V特性-Planar vs Trench

Data_3-2-02 前回条件との比較表

	表7 3-1-02 ①条件	①	②	表7 3-1-02 ④条件
トレンチ形状	通常(Ref.)	R付トレンチ	通常(Ref.)	通常(Ref.)
成膜温度	400℃	400℃	300℃	300℃
Planar MOSCAPA	破壊電圧 : 80V Data_1-3-01インプラ無 と同等レベル 	破壊電圧 : 65V Data_1-3-01インプラ無 より 5V向上 	破壊電圧 : 78V Data_1-3-01インプラ無 と同等レベル 	破壊電圧 : 81V Data_1-3-01インプラ無 と同等レベル 
Trench MOSCAPA	破壊電圧 : 60V Data_1-3-02インプラ有 と同等レベル 	破壊電圧 : 60V Data_1-3-02インプラ有 より 5V向上 	破壊電圧 : 55V Data_1-3-02インプラ有 と同等レベル 	破壊電圧 : 65V Data_1-3-02インプラ有 と同等レベル 

1-3-3 ハードウェア(Bias Stage)追加によるパラメーターの最適化評価結果 (条件詳細 : 表 4. 2-4-01 参照)

1) 測定データ

- I-V特性評価
- C-V特性評価

2) 結果・考察

表10 3-3-01 結果・考察

条件No.	成膜条件	結果・考察
①	P-SiO2 標準成膜条件	リファレンスとして標準条件をサンプリングし、以前のデータとの再現性も確認できた。
②	標準条件+Bias100W	Bias Power 100Wのデータは標準条件と同様な結果となったが グラフ_3-3-08 のフラットバンドの傾向を見るとBias Powerを印加すると正電圧から負電圧方向へシフトして行くのが分かる。
③	標準条件+Bias300W	Bias Powerの影響の強さでデポレートが1/3に低下したが、I-V特性が向上した。 (グラフ_3-3-01,02) C-V特性においては②と同様にフラットバンドが負電圧方向へよりシフトした。 又、 グラフ_3-3-05 の赤のライン-10V~-30Vの乱れはBias Power のダメージによる可能性が高いと考えられる。
④	Hi-Rate条件+Bias0W	ソース流量が多くデポレートが早い条件のリファレンスとしてサンプリングを行ったが、BiasPowerが 0Wの状態では①と同様に グラフ_3-3-08 のフラットバンドが正電圧側にある事が分かる。
⑤	Hi-Rate条件+Bias300W	③の条件がデポレートが低い為、Bias Power 300Wにて①条件とデポレートをほぼ同様にデータ取得を行ったが、③と同様にフラットバンドが負電圧側に大きくシフトした。 又、 グラフ_3-3-07 の赤のライン-15V~-30Vの乱れは③と同様にダメージの可能性が大きい。

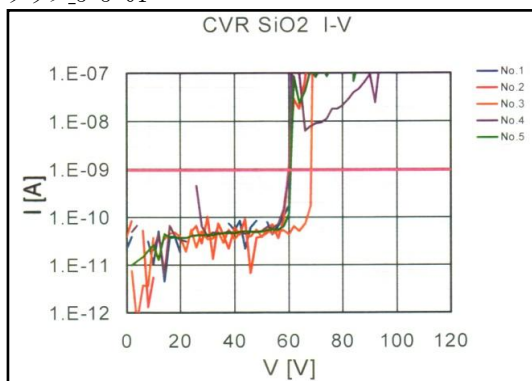
3) まとめ Bias Power依存によるフラットバンドのシフト・C-Vカーブ(Down時)の乱れが確認され、Bias Powerの素子に与えるダメージが大きいことが推測された。現状、簡易評価の為、トレンチ構造側壁の評価は行っていないが、Al2O3のBias評価後にトレンチ構造での確認も継続して行いたい。今回はBias RFとしてセルフバイアスが可能な13.56MHzを使用した。低周波 600kHz(ローダメージ)の使用も含めて検討する必要があると考える。

4) ハードウェア(Bias Stage)追加によるパラメーターの最適化評価データ

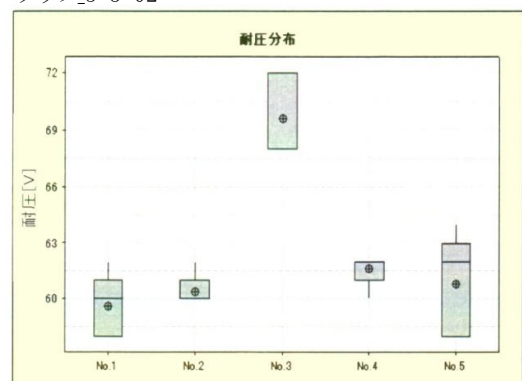
(電気特性 I-V・C-V)

• I-V特性

グラフ_3-3-01

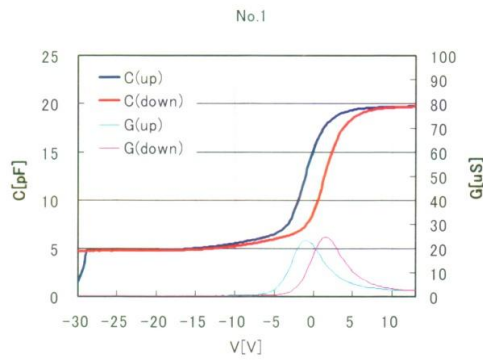


グラフ_3-3-02

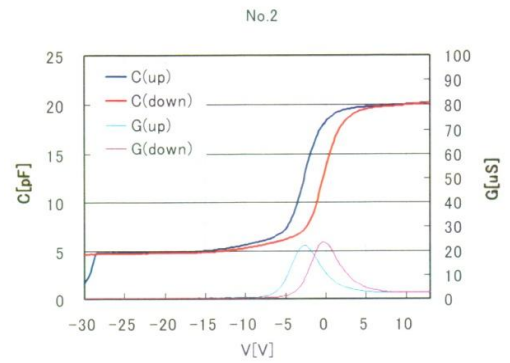


・ C-V特性

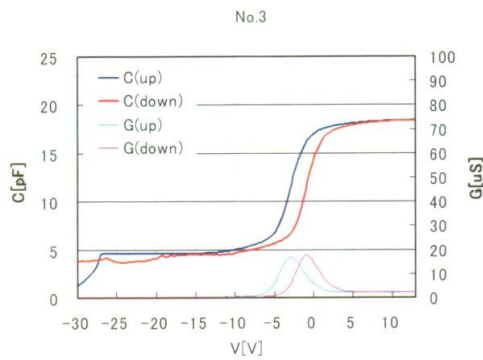
グラフ_3-3-03



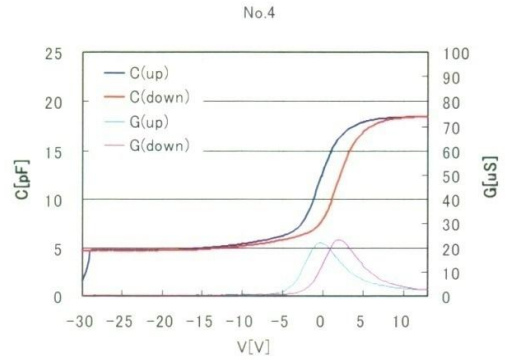
グラフ_3-3-04



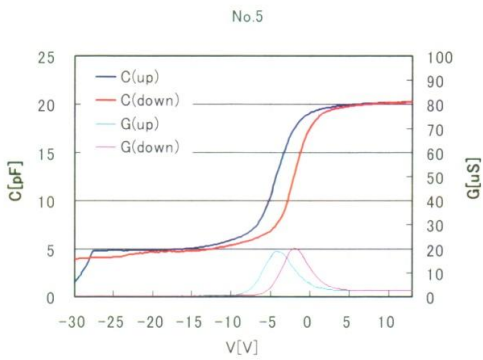
グラフ_3-3-05



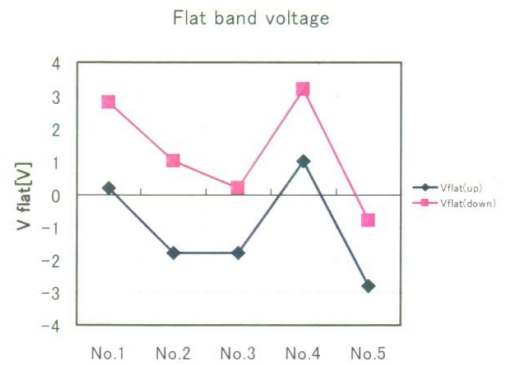
グラフ_3-3-06



グラフ_3-3-07



グラフ_3-3-08



1-3-4 ハードウェア (Bias Stage)追加によるパラメーターの最適化評価結果 (条件詳細 : 表 5. 2-5-01 参照)

- 1) 状況 ・ 今後のスケジュール
 成膜サンプリング 終了
 測定待ち状態 (2010.03.23現在)
 測定日: 現在調整中

1.4 研究開発結果のまとめ

1-4-1 研究開発結果

本研究開発では、トレンチ構造におけるAl₂O₃膜の膜質向上等 問題点に向け、1-2-1 1) ~ 4) の項目で評価・アプローチを行ってきた。

1) 成果

- ・ プロセスパラメーターの最適化(酸化時間の延長) ・ Bias Powerの印加にてI-V特性を向上させることが出来た。
しかし、トレンチ構造においてC-V特性 (正電圧にて蓄積しない状態等) を改善するに至らなかった。
今回の評価にて得られた結果より、I-V特性の向上 ・ プレーナー構造にて正電圧側における蓄積が安定して確認できる事、 R-トレンチ構造にて若干では有るがの改善が見られたことなどから得たデータを基に課題を明確にし更なる膜質改善を行う。

2) Al₂O₃膜 問題点と今後の改善案

(問題点)

- ・ トレンチ構造でのC-V特性にて正電圧側の蓄積が得られない。
- ・ トレンチ構造でのC-V特性にて繰り返し再現性が得られない。(正電圧側へシフトする)
- ・ 電気特性の温度依存性が高い。(Al₂O₃自体の物性特性の可能性か?)

(今後の改善案)

- ・ 成膜温度の高温化
- ・ High Power 成膜及びパラメータの適正化
(図2 Bias Stage 構造図 PE-CVD : 1Step Depoにて Al₂O₃を成膜するプロセスの開発)
- ・ Bias Power 印加でのトレンチ構造成膜 及び 電気特性評価

2) 今後の課題・開発予定

本研究開発の延長線上にて、Bias印加成膜 ・ 高温成膜 ・ High Power成膜を継続して評価する。
又、今回の結果を踏まえてのデバイスメーカーとのディスカッションの中でAl₂O₃自体の物性特性が有る為、高温測定での温度依存性が現れるのではと推測している。
この事から、SiCとの親和性が有るAl₂O₃ を中心に新たな素材を検討・評価も並行して行っていく。
(酸窒化アルミ : AlON ・ 窒化アルミ : AlN 等の結晶化温度が高い素材)

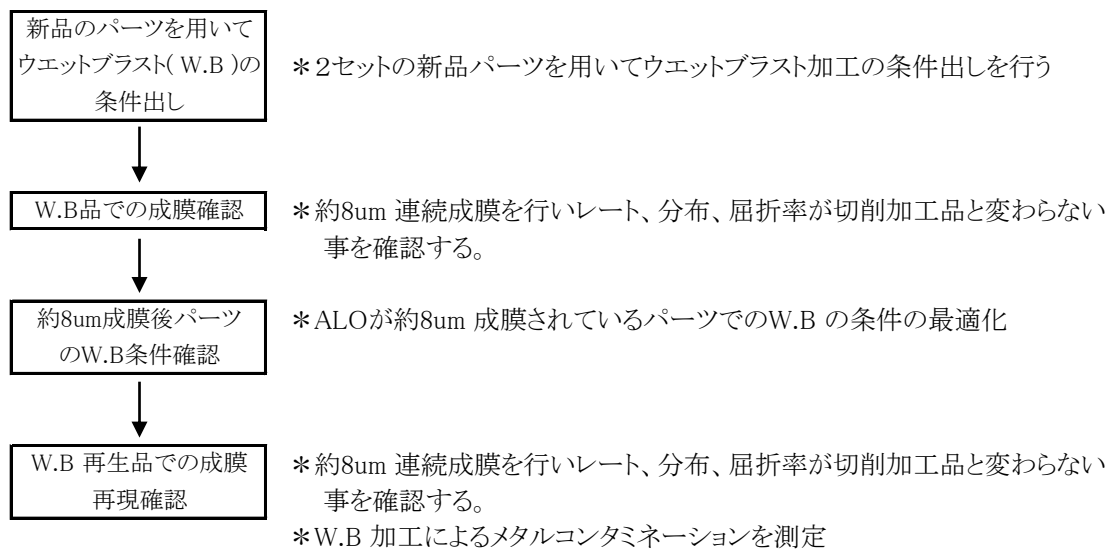
2. メンテナンスコストの低減に関する研究開発

本来プラズマCVDに於いては、有る程度成膜した後にエッチングガス（フッ素系、塩素系）を導入してクリーニングをするが、ALO 膜はフッ素系ガスでのエッチングスピードが非常に遅く又、塩素系のガスを用いるとプロセスチャンバーにダメージを与える為に使用できない。その為に定期的にパーツを交換し、再生加工を行っている。

現在AIO成膜後のパーツ再生は切削加工で行っているが、5回再生を行うと全てのパーツが規格寸法以下になってしまいパーツの交換が必要となる。本研究開発で、成膜性能が変わる事無く削れ量の少ない加工方法の検討を行う。

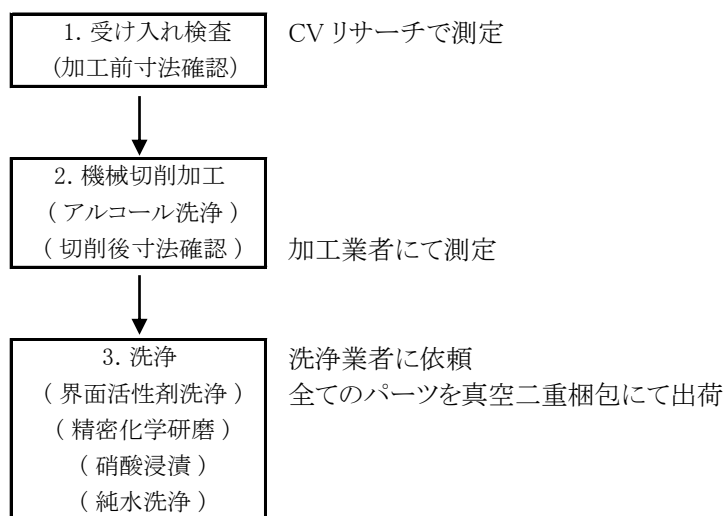
切削加工以外でのAIO膜を除去する手法として考えられる加工として、化学反応(薬品)、ブラスト(ドライ、ウエット)加工がある。しかし、化学反応を用いた手法であるとアルミ部材のほうが早く削れる為パーツの再生には不向きである。又、ドライのブラストは加工時の粉塵等が環境、人体に良くない。よって本研究開発では、ウエットブラスト加工で評価を行う。

研究開発の進め方



2. 1 従来のリアクターメンテナンスパーツ再生方法

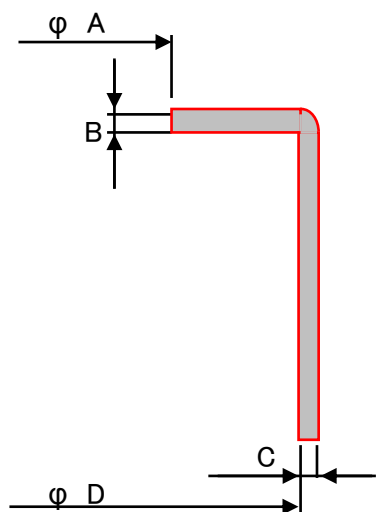
2. 1. 1 再生フロー



2. 1. 2 加工部位及び規格寸法

(1) インナーチューブ

図 1 インナーチューブ規格寸法



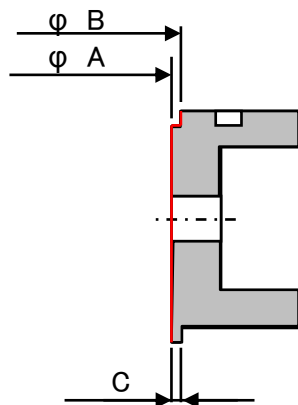
(単位:mm)

	規格寸法
A	195.0
B	5.0 -2.0
C	3.5 -1.5
D	ϕ 349 +3.0

* 赤線部が切削加工面

(2) スペーサーリング

図 2 スペーサーリング規格寸法



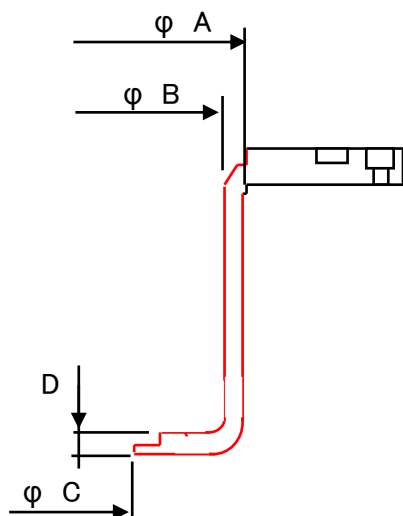
(単位:mm)

	規格寸法
A	ϕ 357.5 +2.5
B	363.0 +2.5
C	2.25 -1.25

* 赤線部が切削加工面

(3) リアクターチューブ

図 3 リアクターチューブ規格寸法



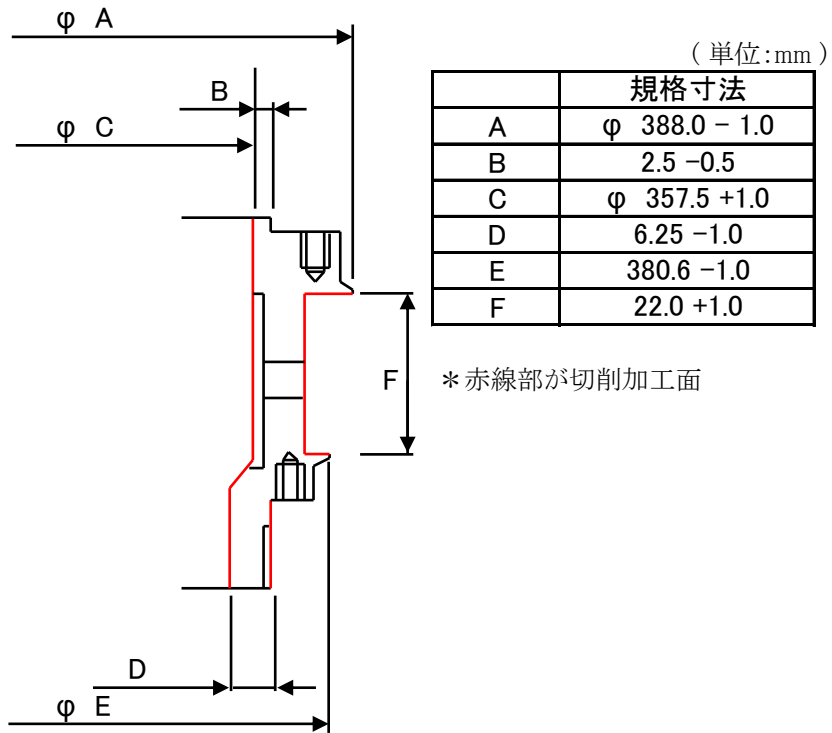
(単位:mm)

	規格寸法
A	ϕ 363.0 - 2.0
B	ϕ 350.0 +2.0
C	ϕ 280 +2.0
D	4.0 -1.0

* 赤線部が切削加工面

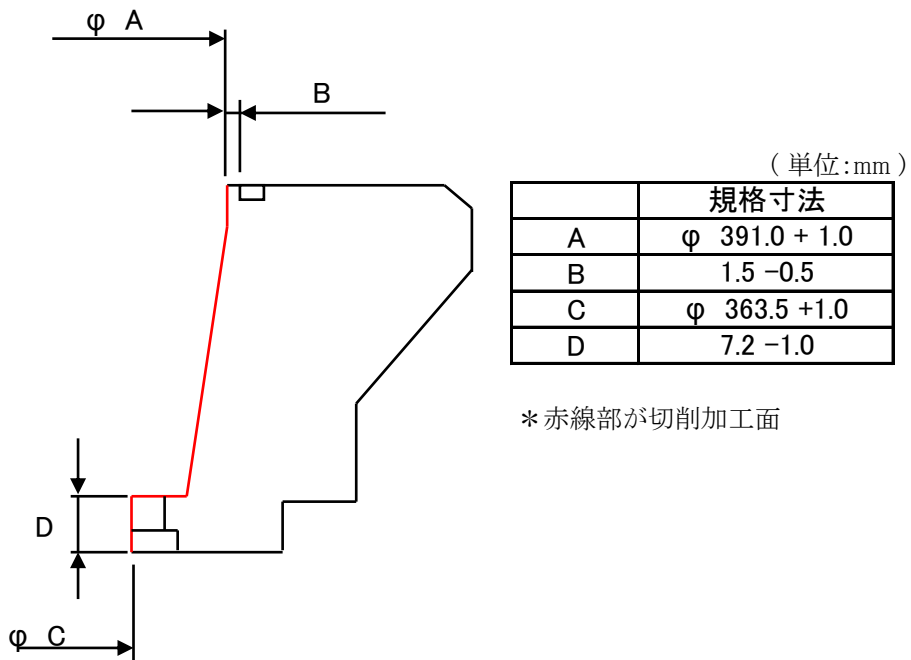
(4) ノズルインナーリング

図4 ノズルインナーリング規格寸法



(5) ノズルアウターリング

図5 ノズルアウターリング規格寸法



2.1.3 加工寸法実績

(1) インナーチューブ

表 1 インナーチューブ加工実績寸法

	規格寸法	加工前寸法	加工後寸法	差
A	195.0	195.05	194.85	0.2
B	5.0 -2.0	5.05	4.80	0.25
C	3.5 -1.5	3.50	3.30	0.2
D	φ 349 +3.0	349.5	349.75	-0.25

(単位: mm)

(2) スペーサーリング

表 2 スペーサーリング加工実績寸法

	規格寸法	加工前寸法	加工後寸法	差
A	φ 357.5 +2.5	357.50	357.80	-0.3
B	363.0 +2.5	363.00	363.25	-0.25
C	2.25 -1.25	2.25	2.00	0.25

(単位: mm)

(3) リアクターチューブ

表 3 リアクターチューブ加工実績寸法

	規格寸法	加工前寸法	加工後寸法	差
A	φ 363.0 - 2.0	363.05	362.8	0.25
B	φ 350.0 +2.0	350.00	350.30	-0.3
C	φ 280 +2.0	280.05	280.25	-0.2
D	4.0 -1.0	4.00	3.75	0.25

(単位: mm)

(4) ノズルインナーリング

表 4 ノズルインナーリング加工実績寸法

	規格寸法	加工前寸法	加工後寸法	差
A	φ 388.0 - 1.0	388.05	387.85	0.2
B	2.5 -0.5	2.50	2.2	0.3
C	φ 357.5 +1.0	357.60	357.85	-0.25
D	6.25 -1.0	6.25	6.00	0.25
E	380.6 -1.0	380.65	380.45	0.2
F	22.0 +1.0	22.00	22.30	-0.3

(単位: mm)

(5) ノズルアウターリング

表 5 ノズルアウターリング加工実績寸法

	規格寸法	加工前寸法	加工後寸法	差
A	φ 391.0 + 1.0	391.05	391.25	-0.2
B	1.5 -0.5	1.50	1.25	0.25
C	φ 363.5 +1.0	363.05	363.35	-0.3
D	7.2 -1.0	7.20	6.95	0.25

(単位: mm)

一回の切削量が約 0.2 ~ 0.3 mm であり全てのパーツに於いて5 回再生を行うと規格寸法から外れてしまい 6 回目の再生は出来ない状況になる。

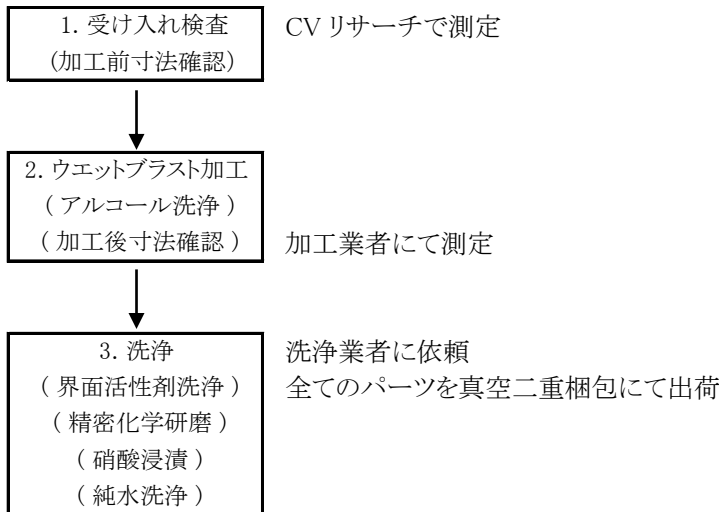
2.2 変更内容とその狙い(試算)

2.2.1 再生加工方法の変更

2.1.1再生フローの2項目の機械切削をウエットブラスト加工に変更することで一回の削れ量を0.1 mm以下に抑えてパーツ再生が可能になることを目標にする。

一回の削れ量を0.1 mm以下に抑えることで、再生可能回数が倍以上にする事が出来、年間2セット必要であった消耗パーツを1セットにする事が可能となる。

2.2.2 再生フロー



2.2.3 ウエットブラスト加工条件

(1) インナーチューブ

表 6 インナーチューブウエットブラスト加工条件

	膜除去加工	仕上げ加工
水圧力	4.5 kg/cm ²	4.5 kg/cm ²
エア圧力	5.0 kg/cm ²	4.5 kg/cm ²

(2) スペーサーリング

表 7 スペーサーリングウエットブラスト加工条件

	膜除去加工	仕上げ加工
水圧力	4.5 kg/cm ²	4.5 kg/cm ²
エア圧力	4.5 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²

(3) リアクターチューブ

表 8 リアクターチューブウエットブラスト加工条件

	膜除去加工	仕上げ加工
水圧力	4.5 kg/cm ²	4.5 kg/cm ²
エア圧力	4.5 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²

(4) ノズルインナーリング

表 9 ノズルインナーリングウエットブラスト加工条件

	膜除去加工	仕上げ加工
水圧力	4.5 kg/cm ²	4.5 kg/cm ²
エア圧力	4.5 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²

(5) ノズルアウトターリング

表 10 ノズルアウトターリングウエットブラスト加工条件

	膜除去加工	仕上げ加工
水圧力	4.5 kg/cm ²	4.5 kg/cm ²
エア圧力	4.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²

2.2.4 ウエットブラスト加工前 / 後写真

(1) インナーチューブ

写真 1 インナーチューブウエットブラスト加工写真



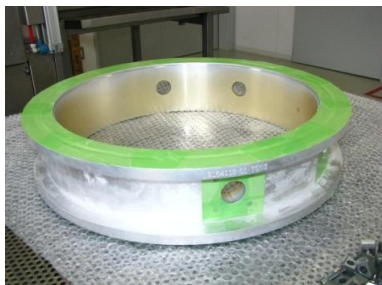
ウエットブラスト加工前写真



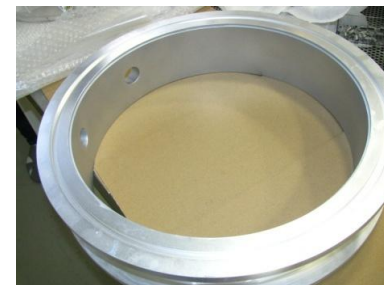
ウエットブラスト加工後写真

(2) スペーサーリング

写真 2 スペーサーリングウエットブラスト加工写真



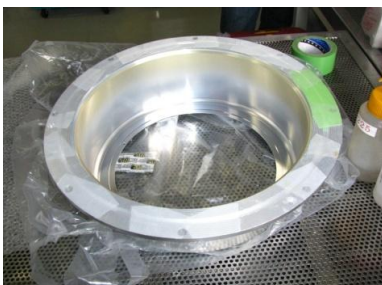
ウエットブラスト加工前写真



ウエットブラスト加工後写真

(3) リアクターチューブ

写真 3 リアクターチューブウエットブラスト加工写真



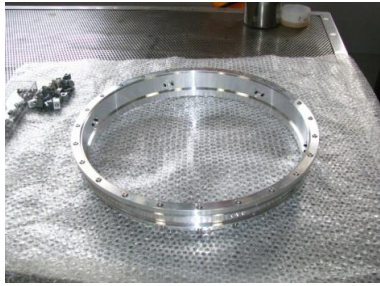
ウエットブラスト加工前写真



ウエットブラスト加工後写真

(4) ノズルインナーリング

写真 4 ノズルインナーリングウェットブラスト加工写真



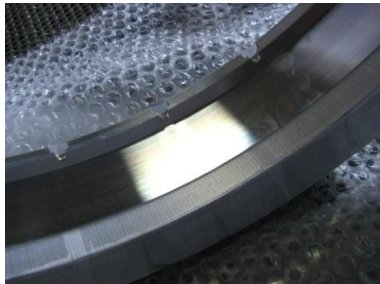
ウェットブラスト加工前写真



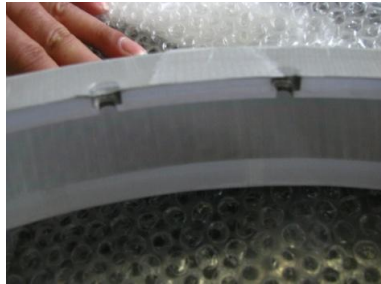
ウェットブラスト加工後写真

(5) ノズルアウターリング

写真 5 ノズルアウターリングウェットブラスト加工写真



ウェットブラスト加工前写真



ウェットブラスト加工後写真

2.2.5 加工寸法実績

(1) インナーチューブ

表 11 インナーチューブウェットブラスト加工実績寸法

	規格寸法	加工前寸法	加工後寸法	差
A	195.0	194.95	194.95	0
B	5.0 -2.0	5.00	4.95	0.05
C	3.5 -1.5	3.50	3.50	0
D	φ 349 +3.0	356.00	355.95	0.05

(単位: mm)

(2) スペーサーリング

表 12 スペーサーリングウェットブラスト加工実績寸法

	規格寸法	加工前寸法	加工後寸法	差
A	φ 357.5 +2.5	357.45	357.50	-0.05
B	363.0 +2.5	362.00	362.10	-0.1
C	2.25 -1.25	2.25	2.20	0.05

(単位: mm)

(3) リアクターチューブ

表 13 リアクターチューブウェットブラスト加工実績寸法

	規格寸法	加工前寸法	加工後寸法	差
A	φ 363.0 - 2.0	363.05	363.00	0.05
B	φ 350.0 +2.0	350.00	350.05	-0.05
C	φ 280 +2.0	280.05	280.00	0.05
D	4.0 -1.0	4.00	4.00	0

(単位: mm)

(4) ノズルインナーリング

表 14 ノズルインナーリングウエットブラスト加工実績寸法

	規格寸法	加工前寸法	加工後寸法	差
A	φ 388.0 - 1.0	388	388.00	0
B	2.5 -0.5	2.50	2.45	0.05
C	φ 357.5 +1.0	357.50	357.5	0
D	6.25 -1.0	6.25	6.20	0.05
E	380.6 -1.0	380.6	380.6	0
F	22.0 +1.0	22.00	22.00	0

(単位: mm)

(5) ノズルアウターリング

表 15 ノズルアウターリングウエットブラスト加工実績寸法

	規格寸法	加工前寸法	加工後寸法	差
A	φ 391.0 + 1.0	390.95	391.00	-0.05
B	1.5 -0.5	1.50	1.45	0.05
C	φ 363.5 +1.0	363.45	363.50	-0.05
D	7.2 -1.0	7.20	7.20	0

(単位: mm)

一回の切削量が約 0.05 ~ 0.1 mm であり全てのパーツに於いて10 回以上再生を行うことが可能となる。

一回の削れ量を 0.1 mm 以下に抑えることが出来たことにより再生可能回数が倍以上にする事が出来た。年間2セットた消耗再生パーツを1セットにする事が可能となる。

2. 3 メンテナンスコスト低減の為の研究開発結果・データ

2. 3. 1 従来のリアクターメンテナンスパーツ再生でのALO成膜結果

(1) 成膜条件

CVR標準条件として、下記の条件で成膜を行った。

成膜条件: Stage Temp : ---°C

RF Power : ---w

Coil電流(IN/OUT) : --- A/--- A

Gas(-) : ---sccm

C-Gas(-) : ---sccm

ソースGas : ---mmg

Pressure : ---mTorr

Time : ---sec (1Cycleあたり)

酸化条件: Stage Temp : ---°C

RF Power : ---w

Coil電流(IN/OUT) : --- A/--- A

Gas(-) : ---sccm

Gas(-) : ---sccm

Pressure : ---mTorr

Time : ---sec (1Cycleあたり)

Recipe詳細

標準成膜Recipe(7w)	Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	Step 5	Step 6	Step 7	Step 8	Step 9	Step 10	Step 11	Step 12	Step 13	Step 14	Step 15	Step 16	Step 17		
Process Time(sec)																			
Stage Temp(°C)																			
Source Power(w)																			
Coil IN(A)																			
Coil OUT(A)																			
O2(sccm)																			
N2(sccm)																			
C-Ar(sccm)																			
Pressure(mTorr)																			
	Depo				Ox				Depo				Ox						
Start Step :	1				End Step :				17				Repart :				17	Total :	51 cycle

* 1Cycleあたり約1nm Depo→酸化 と繰り返し、ウェハー1枚あたり約50nmの成膜を行った。
成膜終了後、膜厚 及び 屈折率をφ 8inch ウェハー1枚あたり17Point 測定し、その測定結果を成膜データとする。

(2) 連続成膜結果 及び データ

表 16 従来品での連続成膜結果

日時	膜厚(Å)	均一性(±%)	屈折率	日時	膜厚(Å)	均一性(±%)	屈折率
2009.11.25	484.6	2.62	1.6545	2009.12.04	482.3	2.94	1.6530
	486.5	2.72	1.6528		485.2	2.91	1.6533
	487.6	2.62	1.6531		484.2	2.91	1.6529
	486.2	2.60	1.6535		484.4	2.96	1.6527
	487.1	2.64	1.6537		483.4	2.99	1.6533
2009.11.26	486.0	2.73	1.6535	2009.12.07	479.3	3.05	1.6522
	487.1	2.70	1.6535		480.7	3.02	1.6528
	487.8	2.65	1.6540		481.0	3.04	1.6533
	488.6	2.67	1.6531		478.3	3.08	1.6520
	486.7	2.60	1.6537		481.8	3.05	1.6528
2009.11.27	485.5	2.84	1.6519	2009.12.08	480.7	3.02	1.6526
	485.7	2.83	1.6538		480.1	3.00	1.6532
	484.4	2.88	1.6542		480.7	3.05	1.6530
	486.4	2.84	1.6532		478.0	3.12	1.6524
	484.6	2.90	1.6534		480.4	3.06	1.6533
2009.11.30	487.2	2.81	1.6511	2009.12.09	481.5	3.00	1.6518
	483.4	2.75	1.6543		480.2	3.00	1.6533
	485.3	2.65	1.6532		479.8	3.04	1.6538
	486.5	2.57	1.6525		480.6	3.05	1.6534
	484.6	2.49	1.6534		480.0	3.05	1.6538

2009.12.01	486.3	2.91	1.6518	2009.12.10	480.5	2.97	1.6512
	485.9	2.92	1.6522		480.0	2.95	1.6508
	486.4	2.87	1.6529		479.6	2.97	1.6506
	485.6	2.89	1.6528		480.4	2.90	1.6509
	484.5	3.02	1.6532		479.4	2.93	1.6503
2009.12.02	485.3	2.93	1.6527	2009.12.11	480.1	2.94	1.6518
	484.3	3.01	1.6530		479.7	2.96	1.6523
	485.3	2.97	1.6525		480.2	2.94	1.6519
	486.2	2.85	1.6517		480.7	2.95	1.6522
	485.1	2.84	1.6527		480.2	2.96	1.6518
2009.12.03	484.2	2.95	1.6532				
	485.2	2.96	1.6535				
	485.7	2.93	1.6525				
	484.7	2.95	1.6531				
	483.8	2.91	1.6535				

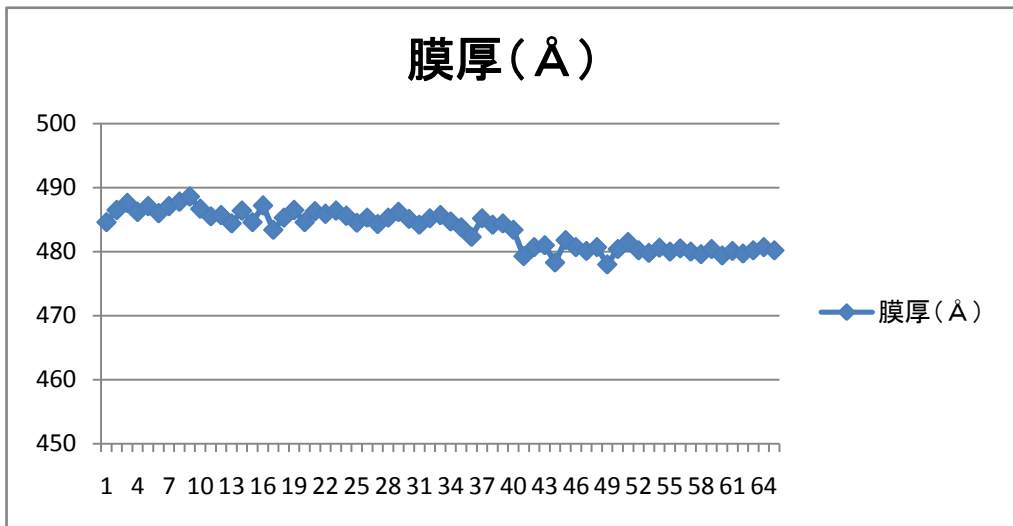
連続処理枚数 : 143枚

ウェハー測定枚数 : 65 枚

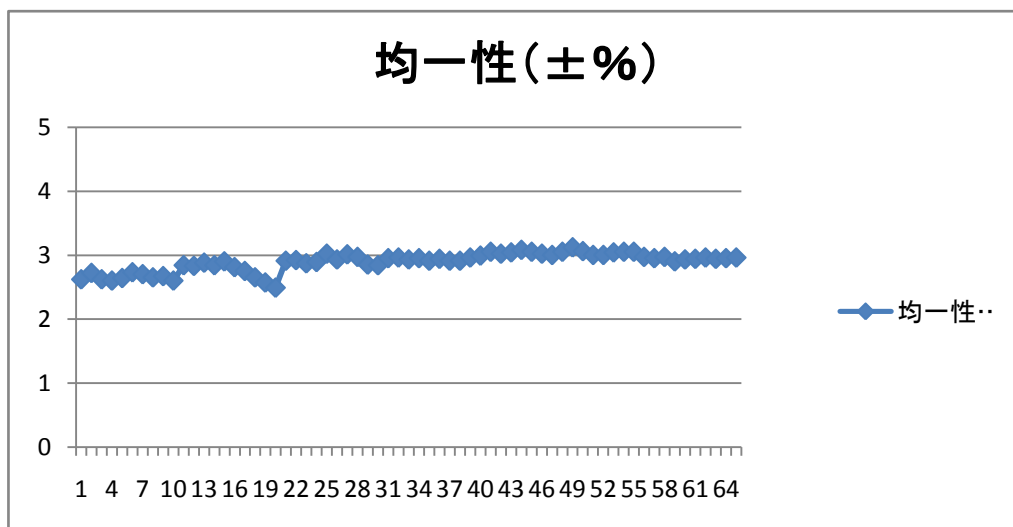
シーズニング等含む最終累積膜厚 : 約 8150nm

平均成膜量 : 483.4 Å ± 1.1 %

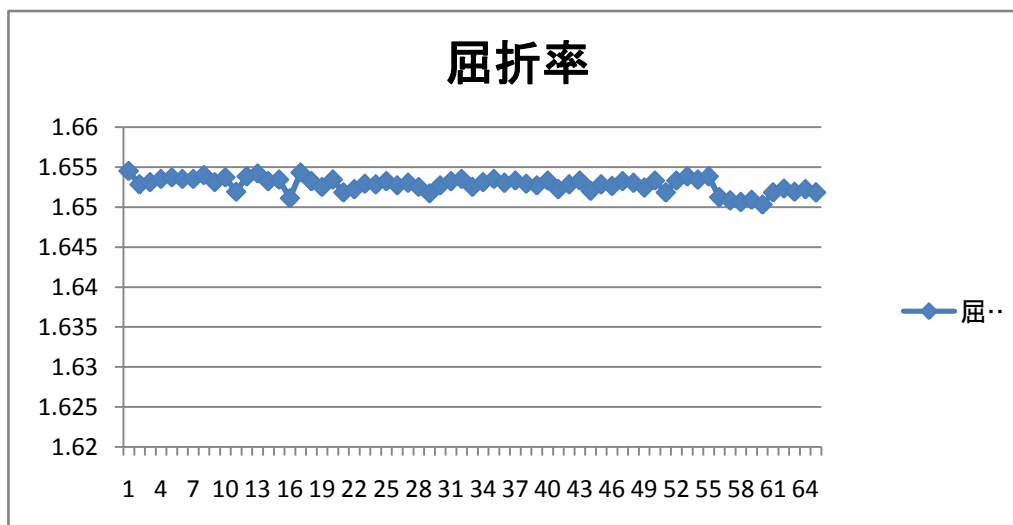
平均均一性 : 2.89 %



グラフ 1 従来品連続成膜再現性(膜厚)



グラフ 2 従来品連続成膜再現性(均一性)



グラフ 3 従来品連続成膜再現性(屈折率)

2.3.2 新品パーツにウェットブラスト加工をしてALO成膜した結果

(1) 成膜条件

2.3.1 (1) と同条件にて成膜

(2) 連続成膜結果 及び データ

表 17 新品ウェットブラスト品での連続成膜結果

日時	膜厚(Å)	均一性(±%)	屈折率	日時	膜厚(Å)	均一性(±%)	屈折率
2010.01.07	487.9	2.55	1.6415	2010.01.18	486.9	2.60	1.6411
	488.1	2.51	1.6416		487.3	2.62	1.6414
	488.3	2.53	1.6416		487.6	2.64	1.6414
	488.0	2.51	1.6417		487.6	2.69	1.6415
	488.8	2.57	1.6413		487.8	2.72	1.6416
2010.01.08	488.0	2.58	1.6423	2010.01.19	486.9	2.67	1.6410
	488.6	2.55	1.6427		487.4	2.72	1.6416
	489.2	2.61	1.6433		487.3	2.76	1.6416
	488.3	2.55	1.6427		487.5	2.73	1.6419
	489.3	2.61	1.6437		487.9	2.70	1.6421
2010.01.12	487.8	2.52	1.6409	2010.01.20	486.6	2.66	1.6420
	488.1	2.62	1.6420		486.7	2.62	1.6421
	487.9	2.50	1.6411		486.5	2.62	1.6421
	488.1	2.54	1.6421		486.2	2.61	1.6418
	488.6	2.60	1.6424		486.8	2.57	1.6418
2010.01.13	488.0	2.57	1.6418	2010.01.21	486.2	2.66	1.6420
	487.6	2.56	1.6422		485.9	2.59	1.6421
	488.1	2.60	1.6422		486.4	2.60	1.6422
	488.4	2.65	1.6422		486.5	2.55	1.6422
	488.7	2.66	1.6421		486.8	2.61	1.6423
2010.01.14	487.3	2.59	1.6425	2010.01.22	486.0	2.69	1.6422
	487.3	2.55	1.6421		486.1	2.72	1.6423
	487.2	2.60	1.6423		487.2	2.68	1.6419
	487.5	2.59	1.6423		487.0	2.68	1.6422
	487.8	2.61	1.6426		487.2	2.69	1.6415
2010.01.15	487.2	2.63	1.6428	2010.01.25	485.6	2.69	1.6418
	487.5	2.62	1.6429		485.3	2.68	1.6419
	487.8	2.64	1.6430		485.4	2.69	1.6420
	487.7	2.69	1.6429		486.4	2.66	1.6420
	488.6	2.74	1.6425		486.4	2.67	1.6423

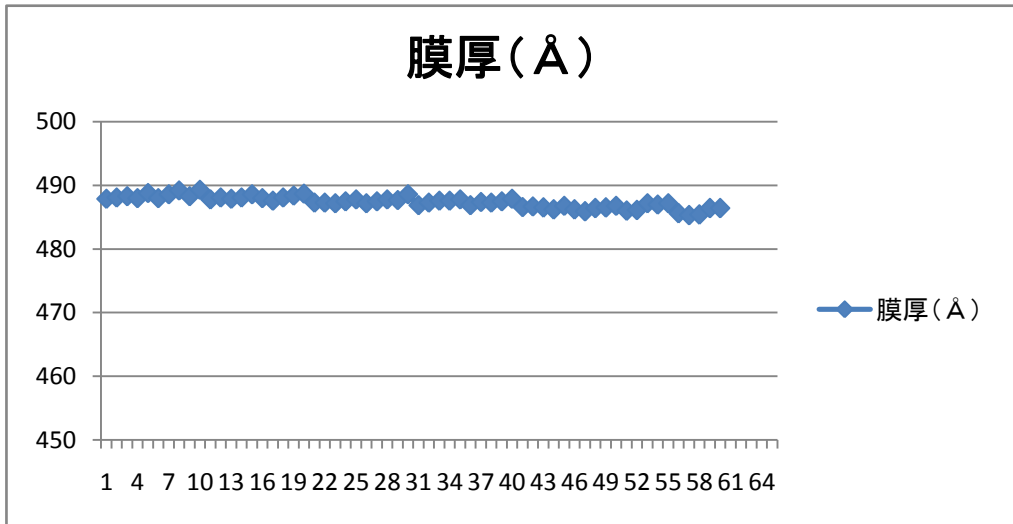
連続処理枚数 : 132 枚

ウェハー測定枚数 : 60 枚

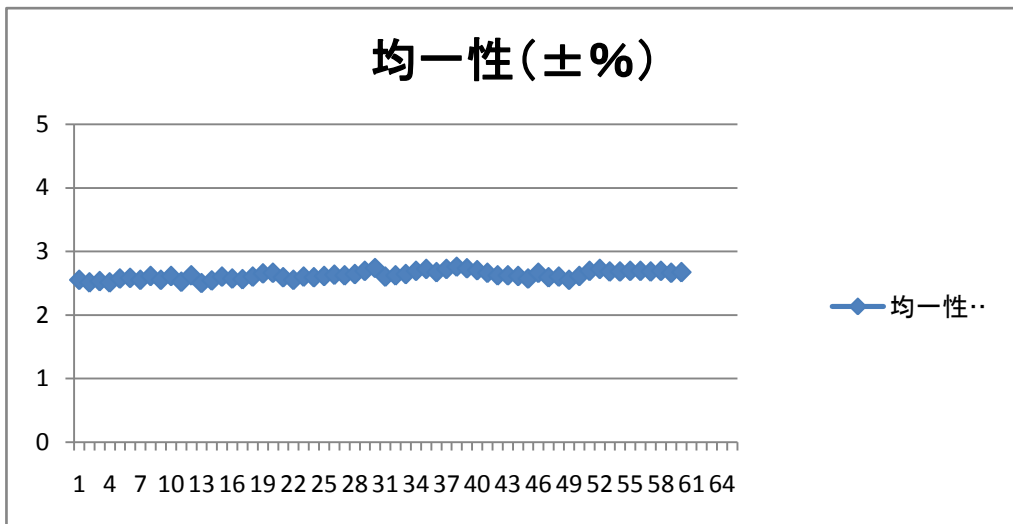
シーズニング等含む最終累積膜厚 : 約 7600nm

平均成膜量 : 487.4 Å ± 0.4 %

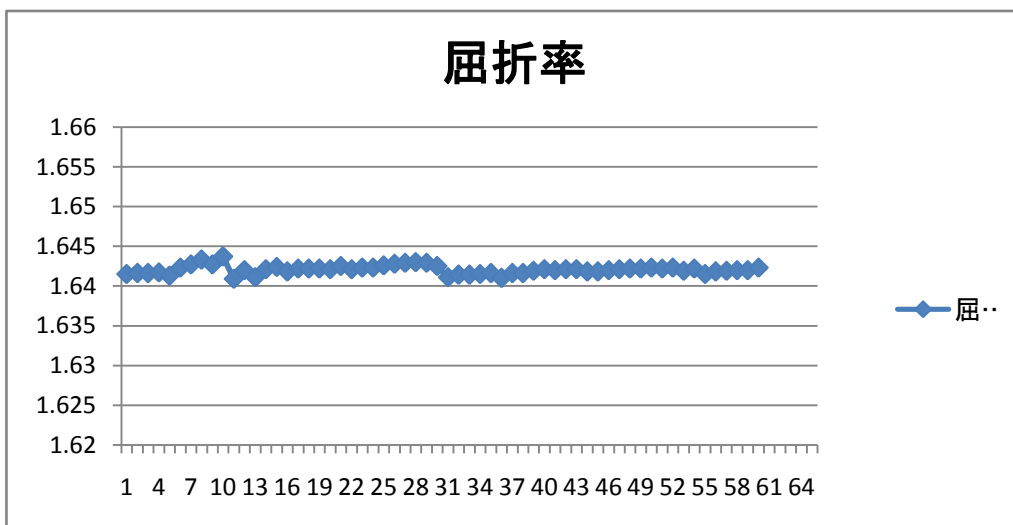
平均均一性 : 2.62 %



グラフ 4 新品ウェットブラスト品連続成膜再現性 (膜厚)



グラフ 5 新品ウェットブラスト品連続成膜再現性 (均一性)



グラフ 6 新品ウェットブラスト品連続成膜再現性 (屈折率)

2.3.3 新品パーツにウェットブラスト加工をしてALO成膜した結果

2.3.2 の再現性を確認

(1) 成膜条件

2.3.1 (1) と同条件にて成膜

(2) 連続成膜結果 及び データ

表 18 新品ウェットブラスト品での連続成膜結果

日時	膜厚(Å)	均一性(±%)	屈折率	日時	膜厚(Å)	均一性(±%)	屈折率
2010.02.01	496.4	2.41	1.6480	2010.02.10	492.9	2.53	1.6475
	496.5	2.44	1.6478		492.9	2.59	1.6480
	496.1	2.47	1.6481		493.2	2.60	1.6481
	496.5	2.50	1.6479		493.3	2.51	1.6479
	496.8	2.45	1.6476		493.0	2.55	1.6474
2010.02.02	495.2	2.45	1.6472	2010.02.12	492.6	2.53	1.6479
	495.3	2.47	1.6474		493.1	2.51	1.6476
	495.8	2.48	1.6478		492.8	2.55	1.6474
	495.9	2.49	1.6478		493.0	2.53	1.6477
	495.4	2.50	1.6474		493.1	2.53	1.6474
2010.02.03	494.2	2.49	1.6480	2010.02.15	492.2	2.54	1.6481
	494.5	2.49	1.6482		492.3	2.58	1.6478
	494.2	2.45	1.6483		492.0	2.56	1.6478
	494.9	2.44	1.6482		492.1	2.52	1.6478
	494.7	2.45	1.6482		491.7	2.53	1.6473
2010.02.04	494.3	2.42	1.6484	2010.02.16	491.3	2.54	1.6480
	494.5	2.41	1.6479		491.5	2.57	1.6476
	494.1	2.43	1.6481		491.7	2.55	1.6477
	494.5	2.42	1.6481		492.4	2.55	1.6481
	494.9	2.40	1.6483		492.0	2.50	1.6477
2010.02.05	494.5	2.46	1.6476	2010.02.17	491.3	2.55	1.6480
	494.2	2.45	1.6479		491.1	2.55	1.6477
	493.9	2.46	1.6485		490.5	2.59	1.6482
	494.1	2.45	1.6482		491.0	2.58	1.6478
	494.3	2.44	1.6478		491.2	2.58	1.6481
2010.02.08	493.4	2.46	1.6486	2010.02.18	491.3	2.54	1.6479
	493.6	2.47	1.6482		491.0	2.53	1.6476
	493.3	2.47	1.6483		491.4	2.55	1.6481
	493.7	2.47	1.6479		491.5	2.52	1.6484
	494.0	2.46	1.6482		491.8	2.52	1.6479
2010.02.09	493.6	2.48	1.6475				
	493.2	2.49	1.6481				
	493.0	2.51	1.6477				
	493.1	2.53	1.6477				
	493.5	2.52	1.6469				

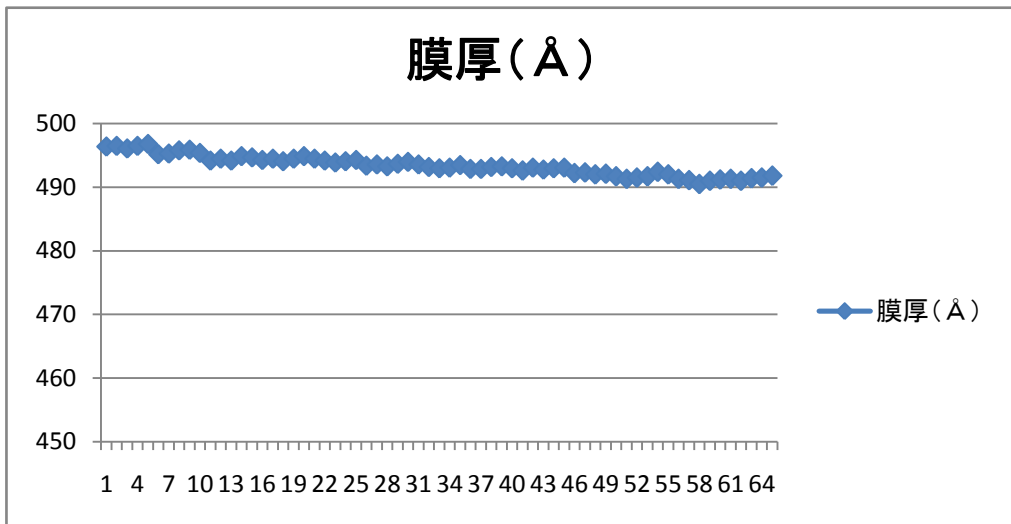
連続処理枚数 : 143 枚

ウェハー測定枚数 : 65 枚

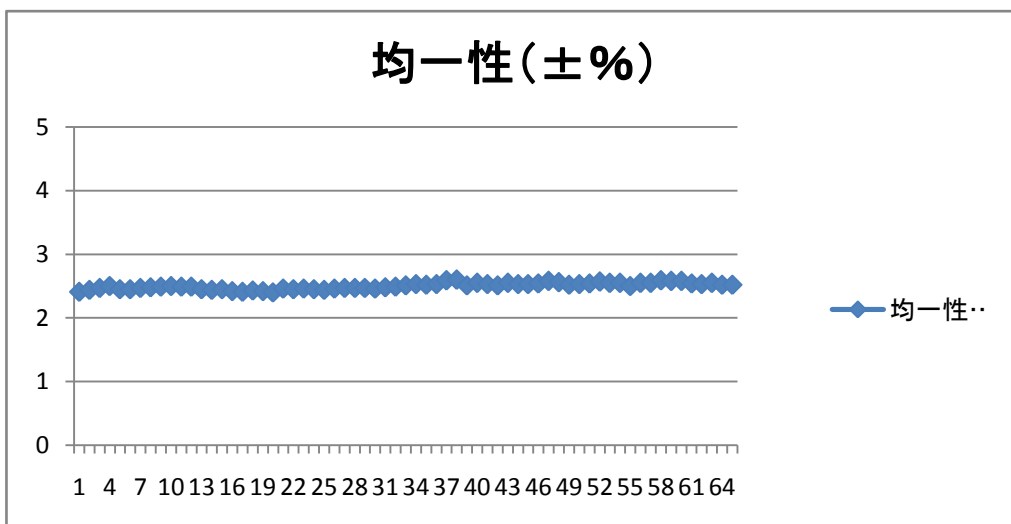
シーズニング等含む最終累積膜厚 : 約 8150nm

平均成膜量 : 493.4 Å ± 0.6 %

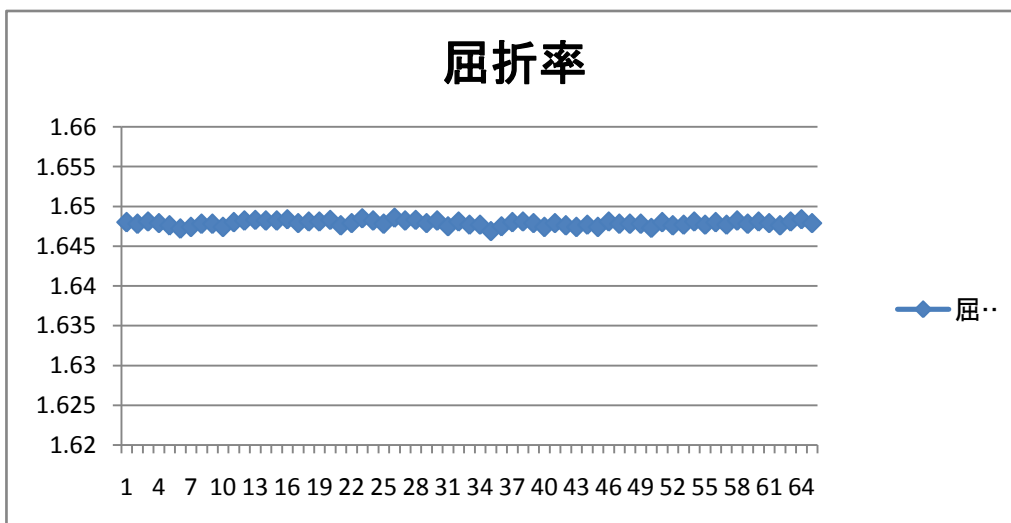
平均均一性 : 2.50 %



グラフ 7 新品ウェットブラスト品連続成膜再現性 (膜厚)



グラフ 8 新品ウェットブラスト品連続成膜再現性 (均一性)



グラフ 9 新品ウェットブラスト品連続成膜再現性 (屈折率)

(3) コンタミネーション測定結果

- ① リファレンス
- ② 搬送のみ
- ③ 成膜(約30nm) 計3枚

表 19 メタルコンタミネーション測定結果

試料名	成分					
	Na	K	Cr	Fe	Ni	Zn
リファレンス	1.5	0.68	<0.04	0.06	<0.03	0.08
搬送	6.9	4.7	<0.04	1.2	<0.03	0.31
成膜(約30nm)	0.25	<0.05	<0.04	<0.03	<0.03	<0.03
定量下限	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03
備考	単位: $\times 10^{10}$ atoms / cm^2 (314 cm^2 / 200mmウェハとして算出) 分析方法: ICP質量分析法					

2. 3. 4 前回使用パーツに再度ウェットブラスト加工をしてALO成膜した結果

(1) 成膜条件

2. 3. 1 (1) と同条件にて成膜

(2) 連続成膜結果 及び データ

表 20 再生ウェットブラスト品での連続成膜結果

日時	膜厚(Å)	均一性(±%)	屈折率	日時	膜厚(Å)	均一性(±%)	屈折率
2010.03.02	492.5	2.54	1.6485	2010.03.05	492.1	2.49	1.6489
	492.9	2.55	1.6487		492.1	2.46	1.6489
	493.2	2.53	1.6486		491.7	2.51	1.6485
	492.8	2.51	1.6490		491.9	2.51	1.6485
	493.2	2.50	1.6487		492.2	2.50	1.6488
2010.03.03	492.3	2.51	1.6491	2010.03.08	491.6	2.51	1.6484
	492.5	2.50	1.6487		492.1	2.52	1.6487
	492.7	2.53	1.6485		491.7	2.52	1.6490
	492.3	2.49	1.6488		492.0	2.54	1.6486
	492.7	2.50	1.6487		492.3	2.52	1.6488
2010.03.04	492.5	2.52	1.6485	2010.03.09	491.4	2.52	1.6481
	492.3	2.50	1.6489		491.6	2.53	1.6484
	492.5	2.49	1.6488		491.9	2.51	1.6487
	492.8	2.51	1.6488		491.7	2.53	1.6485
	493.1	2.49	1.6486		491.9	2.49	1.6487

連続処理枚数 : 66 枚

ウェハー測定枚数 : 30 枚

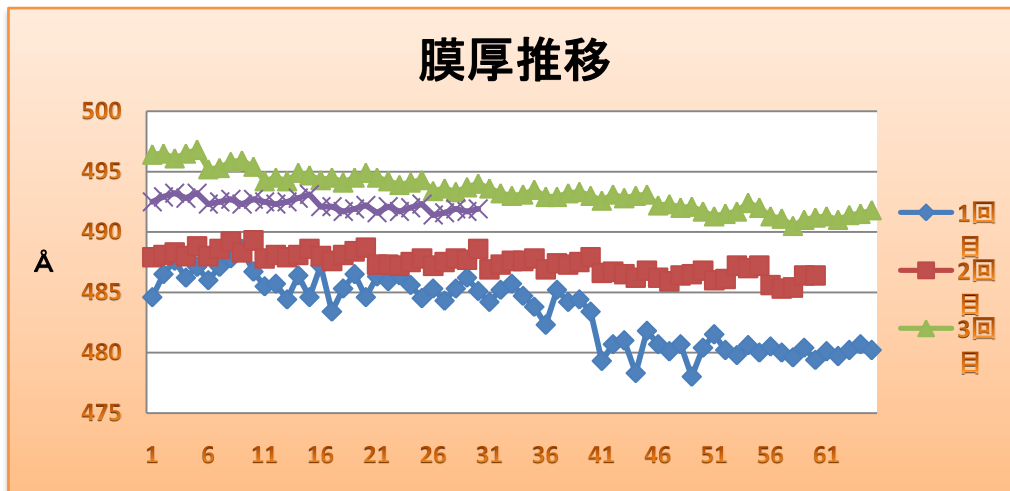
シーズニング等含む最終累積膜厚 : 約3750nm

平均成膜量 : 492.3 Å ± 0.2 %

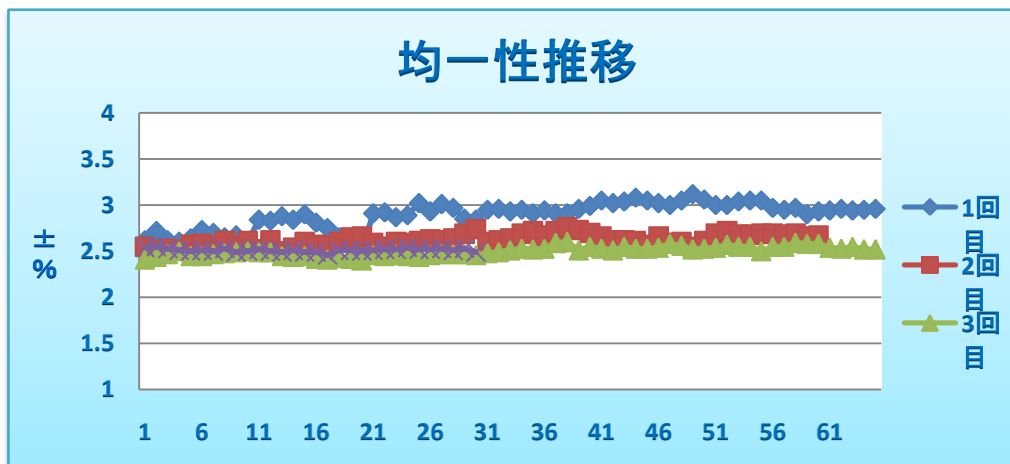
平均均一性 : 2.51 %

2.3.5 評価結果

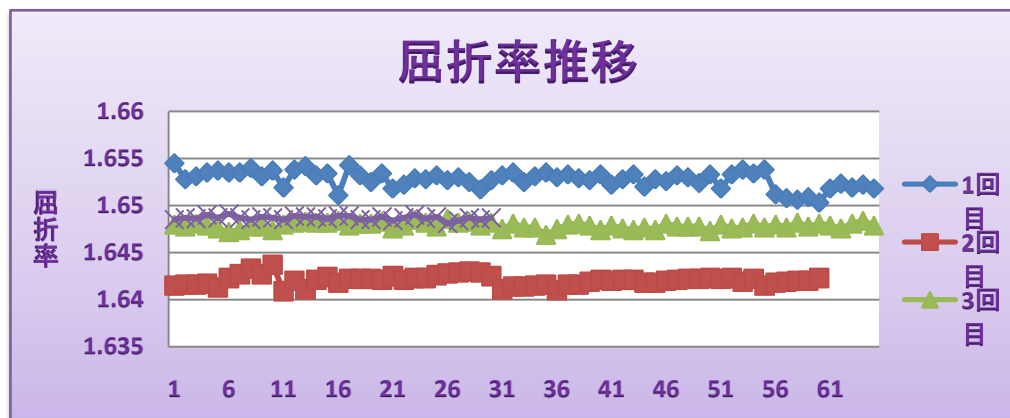
従来の切削再生加工とウエットブラスト再生加工では、膜厚、均一性、屈折率の連続成膜に於ける推移に差は無く安定したデータを得ることが出来た。又、十分なシーズニングを実施すれば、メタルコンタミネーションも問題の無いレベルであることが判った。



グラフ 10 連続成膜再現性比較 (膜厚)



グラフ 11 連続成膜再現性比較 (均一性)



グラフ 12 連続成膜再現性比較 (屈折率)

2.4 研究開発結果のまとめ

2.4.1 従来のリアクターメンテナンスパーツ再生コスト

(1) 消耗パーツ 年間コスト (単位:円)

パーツ名称	使用個数	単価	価格
石英ベルジャー	2	-	-
インナーチューブ	2	-	-
スペーサーリング	2	-	-
ノズルインナーリング	2	-	-
ノズルアウターリング	2	-	-
リアクターチューブ	2	-	-
ノズル	72	-	-
ノズルナット	144	-	-
		合計	-

表 21 消耗パーツ年間コスト

(2) パーツ再生年間コスト (単位:円)

パーツ名称	再生回数	単価	価格
石英ベルジャー	12	-	-
インナーチューブ	12	-	-
スペーサーリング	12	-	-
ノズルインナーリング	12	-	-
ノズルアウターリング	12	-	-
リアクターチューブ	12	-	-
		合計	-

表 22 パーツ再生年間コスト

(3) 年間メンテナンスコスト

従来の切削加工によるパーツ再生方法であると一回の削れ量が 0.2 ~ 0.3 mm 程度であり各パーツの規格寸法外になるまでに5回の再生しか行えない。その為に年間2セットのメンテナンスパーツが必要となり、年間のメンテナンスコストは、再生費用とあわせて約500万円である。

2.4.2 ウエットブラストによるリアクターメンテナンスパーツ再生コスト

(1) 消耗パーツ 年間コスト (単位:円)

パーツ名称	使用個数	単価	価格
石英ベルジャー	2	-	-
インナーチューブ	1	-	-
スペーサーリング	1	-	-
ノズルインナーリング	1	-	-
ノズルアウターリング	1	-	-
リアクターチューブ	1	-	-
ノズル	72	-	-
ノズルナット	144	-	-
		合計	-

表 23 消耗パーツ年間コスト

(2) パーツ再生年間コスト (単位:円)

パーツ名称	再生回数	単価	価格
石英ベルジャー	12	-	-
インナーチューブ	12	-	-
スペーサーリング	12	-	-
ノズルインナーリング	12	-	-
ノズルアウターリング	12	-	-
リアクターチューブ	12	-	-
		合計	-

表 24 パーツ再生年間コスト

(3) 年間メンテナンスコスト

ウェットブラスト加工によるパーツ再生方法であると一回の削れ量が0.1mm以下であり各パーツの規格寸法外になるまでに10回の再生を行うことが可能になり、再生費用と合わせてメンテナンスコストを350万円まで低減出来た。

2.4.3 結論 / 課題

(1) 結論

従来の切削加工によるメンテナンスパーツの再生手法であると、パーツ一式の寿命が約6ヶ月(5回の再生)と短く消耗パーツの年間メンテナンスコストの約36%を占めている。

今回のメンテナンスコスト低減に関する研究開発に於いて、従来の切削再生加工からウェットブラストによる再生手法を確立させることで装置の一年間にかかるメンテナンスコストを約30%削減することを達成出来た。

(2) 今後の課題

- 今回の研究開発では、再生パーツの洗浄手法の検討はおこなわなかったが、洗浄工程の簡略化を検討することで再生コストを後5%程度下げることが可能そうである。今後の検討課題のひとつである。
- 今回の研究に於いて、累積成膜量を8um程度でデーターどりを行ったが、ウェットブラスト加工再生を行ったパーツはダストが増えていなかった。今後実験を継続し、累積膜厚の限界値を見つける必要がある。切削加工による再生品での限界(ダストの規格値外)累積膜厚は12umで有る為使用限界を10umとしてあるが、ウェットブラスト再生品の限界累積膜厚を増やせることが確認できれば、さらなるメンテナンスコスト低減が可能となる。

3. ランニングコスト低減の為の研究開発

3.1 ランニングコスト低減への対応(試算結果等)

現在のパワーデバイスの基盤サイズはφ3インチが主流であり、φ3インチの25枚/ロットのALO成膜に約17時間ひつようである。そこで我々は下記図1に示すサセプターを用いてφ3インチウエハの4枚一括処理の性能確認を行った。

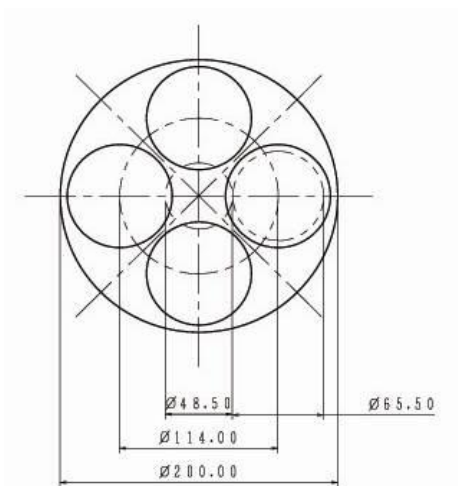


図1 φ3インチ4枚サセプター

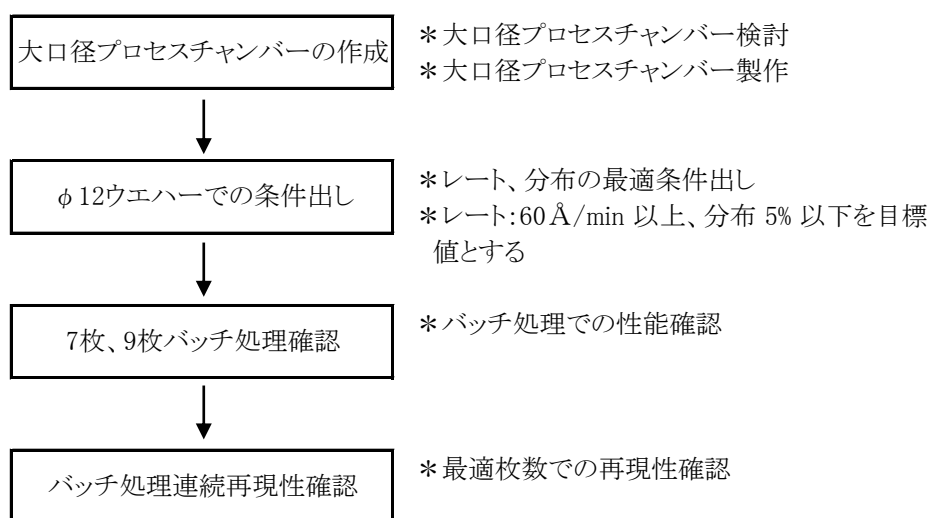
No1	Rate	68.4 Å/min
	Uniformity	±1.65 %
No2	Rate	69.2 Å/min
	Uniformity	±1.62 %
No3	Rate	67.8 Å/min
	Uniformity	±1.67 %
No4	Rate	68.1 Å/min
	Uniformity	±1.63 %

4枚の一括処理(ミニバッチ処理)により、25枚/ロットの成膜処理に要する時間を4時間まで短縮することが出来たが、量産でのランニングコストを考えると更なるコストの低減が必要となる。

上記結果より、プロセスチャンバーとウエハステージヒーターのサイズを大きくしφ12インチウエハで面内の分布を5%以下に抑えれば一括処理枚数を現在の4枚から7枚以上に増やす事が可能となり、一括処理枚数(ミニバッチ)を7枚とすることで処理能力を約40%向上が達成出来る。

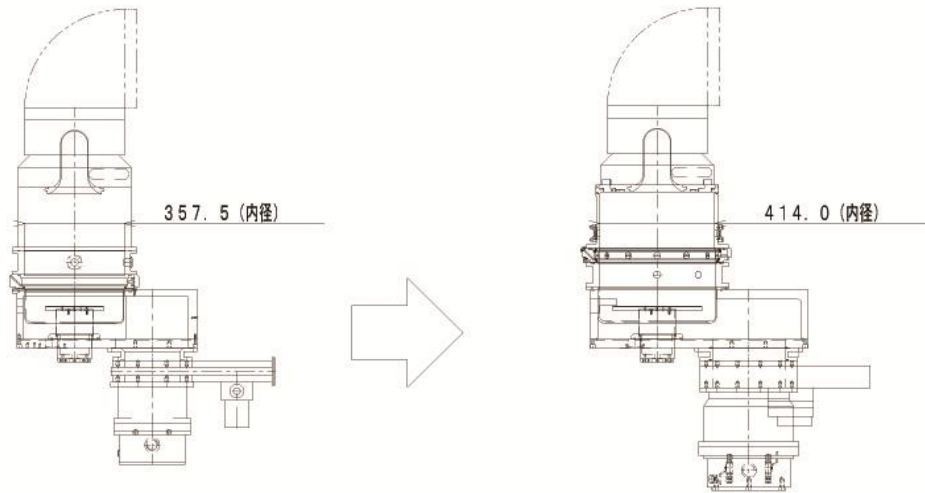
3.2 研究開発内容の説明及び手順

3.2.1 研究開発手順



3. 3. 2 大口径プラズマチャンバーの製作

φ3インチウエハーが7枚以上セット出来るサセプターが搬送可能かつ面内均一性が取れるφ12インチプラズマチャンバーを製作した。



従来のプロセスチャンバー断面図

大口径プロセスチャンバー断面図

図 2 プロセスチャンバー断面図

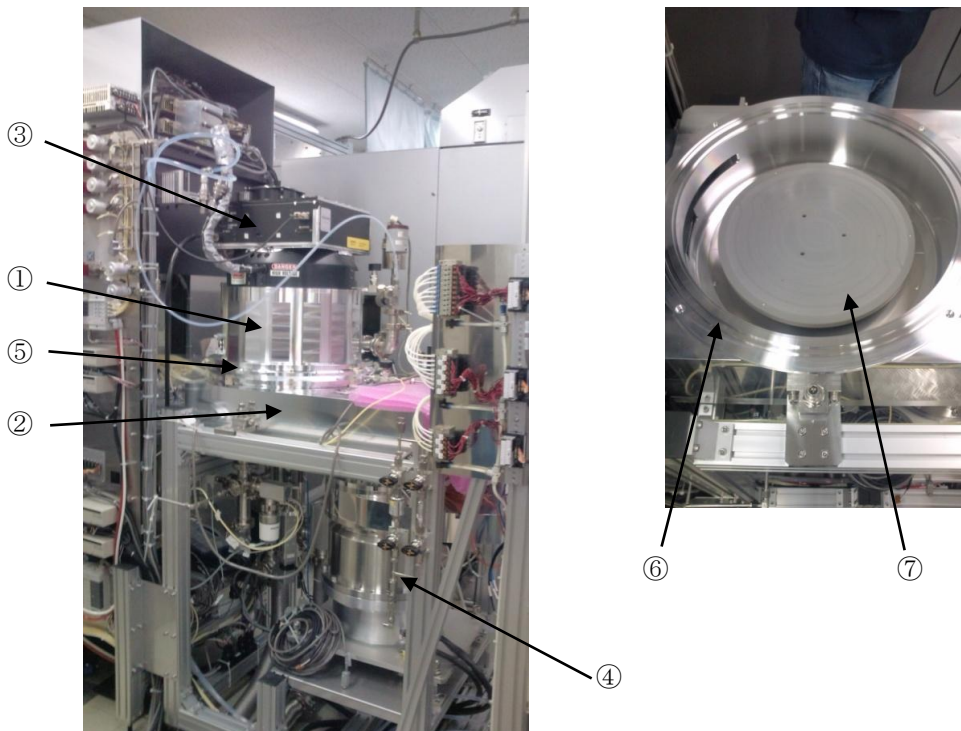


写真 1 大口径プロセス装置完成写真

- ① 大口径プラズマチャンバー
- ② 大口径プロセスチャンバー
- ③ プラズママッチングボックス（従来品）
- ④ 大排気量ターボ分子ポンプ
- ⑤ 大口径ガス導入リング
- ⑥ 大口径排気リング
- ⑦ φ12インチRF 付きヒーター電極

3. 2. 3 φ12インチウエハーでの条件だし

ウエハー面内の成膜レート 60 Å/min 以上且つ、均一性5%以下を目標に、各パラメーター及びガス導入ノズルを変更し条件だしを行う

特性取りパラメーター条件

Pressure (mtorr)	6	8	10
RF Power (w)	20% ↓	STD	20% ↑
Coil IN/OUT Power (A)	30% ↓	STD	30% ↑
O2 Flow (sccm)	20% ↓	STD	20% ↑
ソース flow (mg / min)	10% ↓	STD	10% ↑

：φ8インチ成膜センター条件

3. 2. 4 サセプターを使用し、φ3インチウエハー成膜

φ3インチが 7枚と9枚セット出来るサセプターを用いてφ3インチウエハーを成膜。
φ3インチ面内均一性2%以下及びバッチ間均一性3%以下をターゲットとする。
又、サセプターを使用しての成膜条件の最適化をおこなう。



写真 2. 7 Wafers サセプター写真

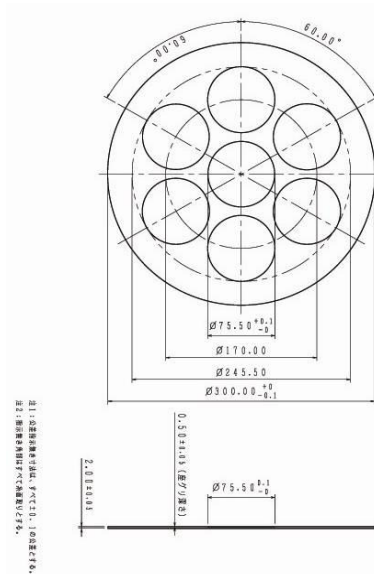


図 2. 7 Wafers サセプター図面

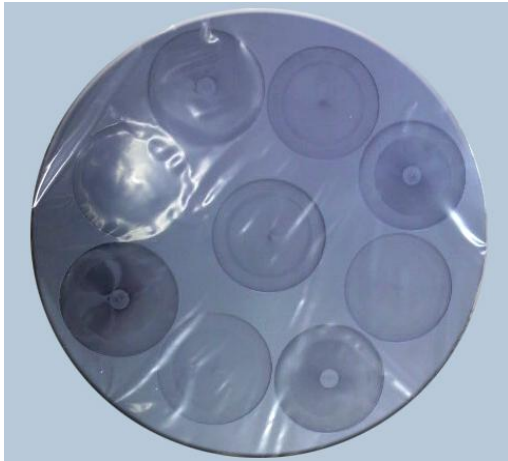


写真 3.9 Wafers サセプター写真

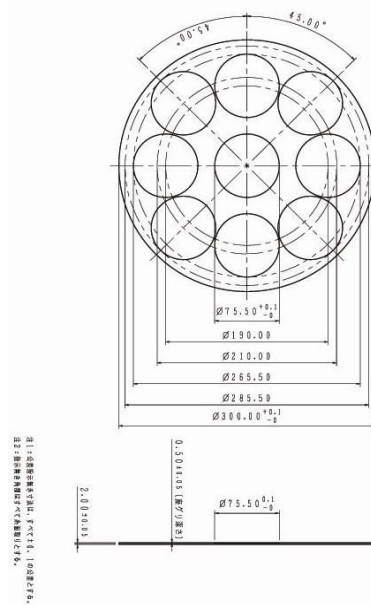


図 3.7 Wafers サセプター図面

3.3 研究開発結果・データの詳細

3.3.1 φ12インチ条件だし(ノズル曲げ角度 XX°)

(1) ALO 標準条件成膜 (STD)

Pressure : -- mtorr C-Ar Flow : -- sccm
 RF Power : -- / ---w ソースガス: --mg / min
 Coil Power : -- / -- A S. Temp : --- °C
 O2 Flow : -- / -- sccm Time : - / -- sec
 N2 Flow : -- / -- sccm

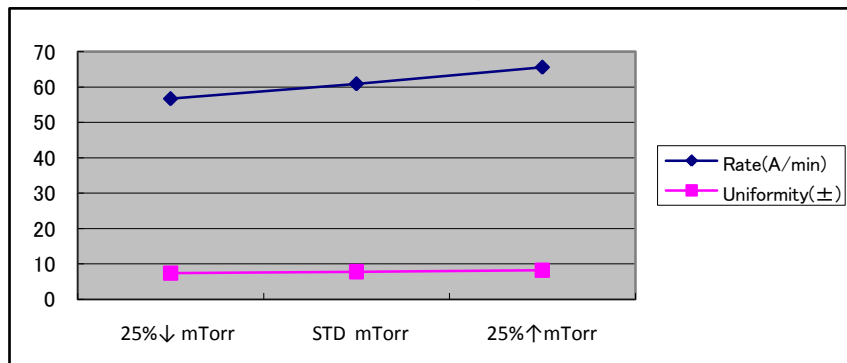
Rate 60.85 A/min
 Uniformity ± 7.8 %

(2) 成膜条件だし

① Pressure 特性 (ノズル角度 XX°)

	25% ↓	(STD)mtorr	25% ↑
Rate	58.1A/min	60.9A/min	63.9A/min
Uniformity	± 7.1 %	± 7.8 %	± 8.2 %

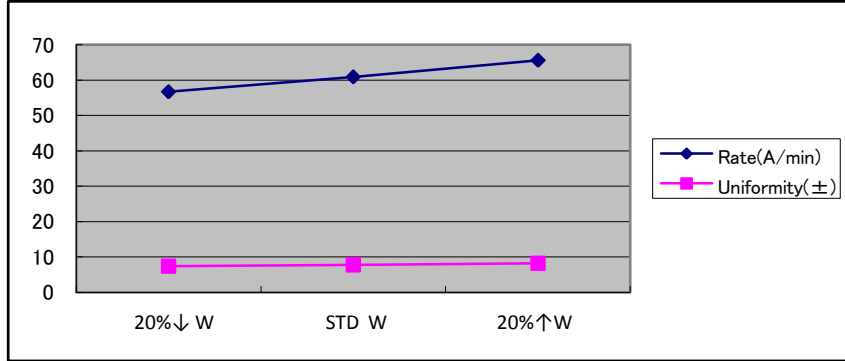
グラフ 1. Pressure 特性グラフ



② RF Power 特性 (ノズル角度 XX°)

	20% ↓ W	STD W	20% ↑ W
Rate	56.7A/min	60.9A/min	65.6A/min
Uniformity	± 7.4 %	± 7.8 %	± 8.2 %

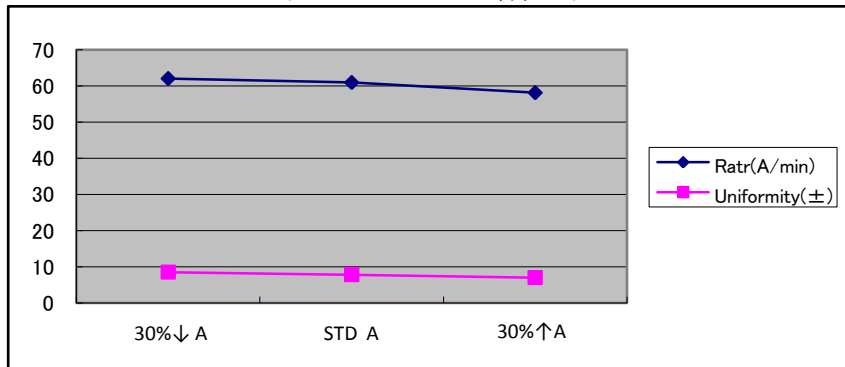
グラフ 2. RF Power 特性グラフ



③ Coil Power 特性 (ノズル角度 XX°)

	30% ↓ A	STD A	30% ↑ A
Rate	62.0A/min	60.9A/min	58.1A/min
Uniformity	± 8.5 %	± 7.8 %	± 7.0 %

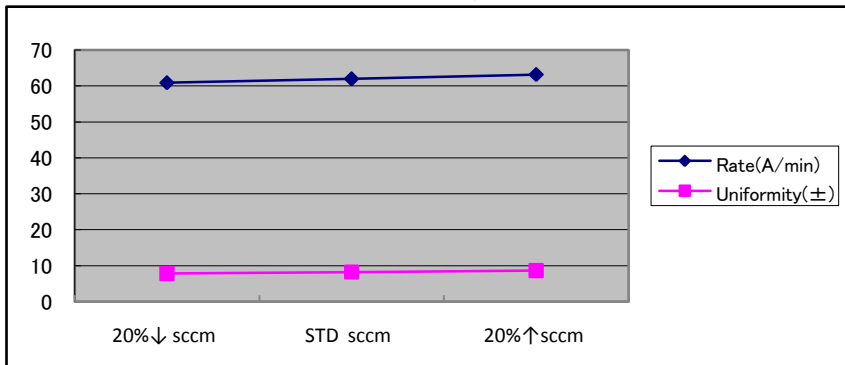
グラフ 3. Coil Power 特性グラフ



④ O2 Flow 特性 (ノズル角度 XX°)

	20% ↓ sccm	STD sccm	20% ↑ sccm
Rate	60.9A/min	62.0A/min	63.2A/min
Uniformity	± 7.8 %	± 8.2 %	± 8.6 %

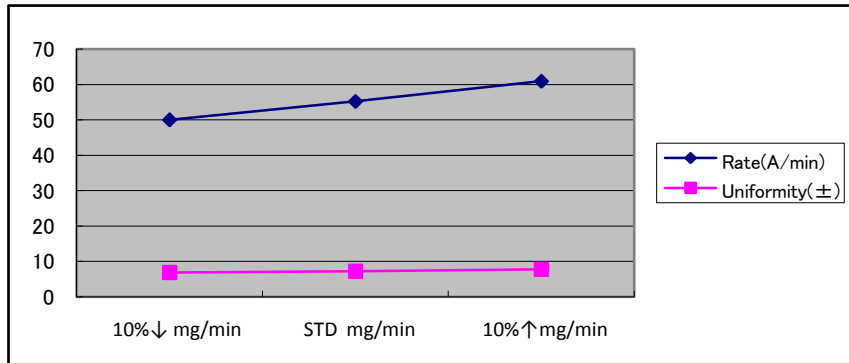
グラフ 4. O2 Flow 特性グラフ



⑤ ソースGas Flow 特性 (ノズル角度 XX°)

	10% ↓ mg/min	STDmg/min	10% ↑ mg/min
Rate	50.0A/min	55.2A/min	60.9A/min
Uniformity	± 6.9 %	± 7.3 %	± 7.8 %

グラフ 5. ソースGas Flow 特性グラフ



3. 3. 2 φ12インチ条件だし (ノズル曲げ角度 59 度)

(1) ALO 標準条件成膜 (STD)

Pressure : -- mtorr C-Ar Flow : -- sccm
 RF Power : -- / ---w ソースガス: --mg / min
 Coil Power : -- / -- A S. Temp : --- °C
 O2 Flow : -- / -- sccm Time : - / -- sec
 N2 Flow : -- / -- sccm

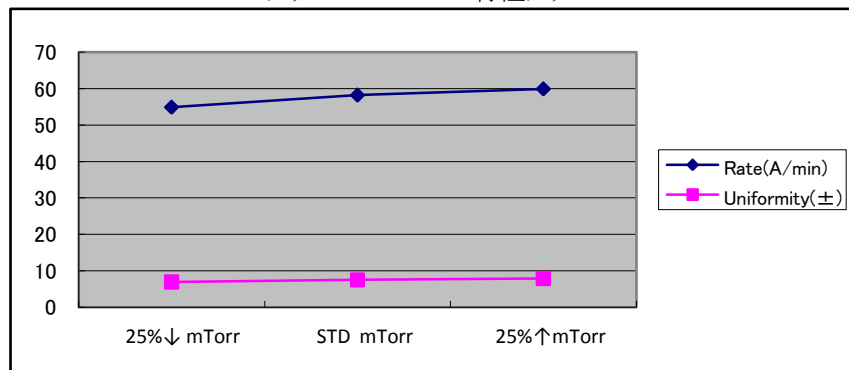
Rate 58.2 A/min
 Uniformity ± 7.5 %

(2) 成膜条件だし

① Pressure 特性 (ノズル角度 XX°)

	25% ↓	(STD)mtorr	25% ↑
Rate	54.9A/min	58.2A/min	59.9A/min
Uniformity	± 6.9 %	± 7.5 %	± 7.9 %

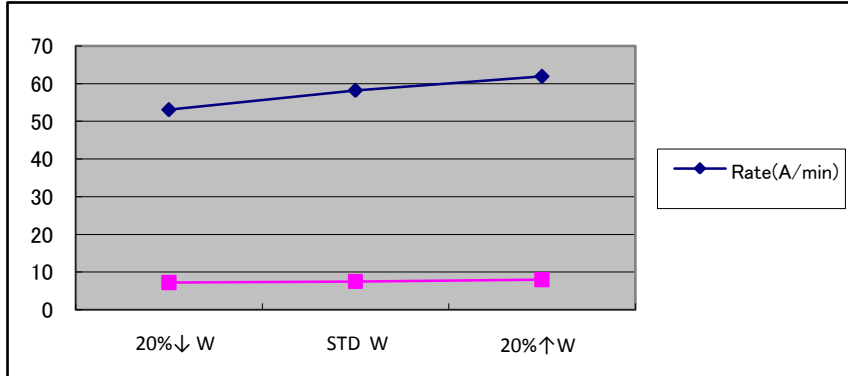
グラフ 6. Pressure 特性グラフ



② RF Power 特性 (ノズル角度 XX°)

	20% ↓ W	STD W	20% ↑ W
Rate	53.1A/min	58.2A/min	61.9A/min
Uniformity	± 7.2 %	± 7.5 %	± 8.0 %

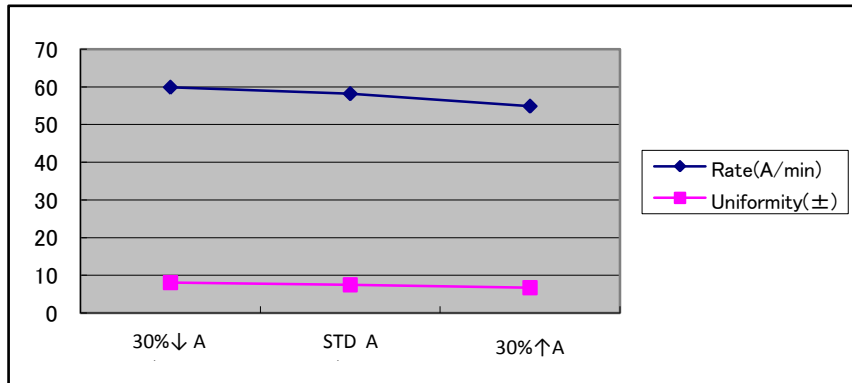
グラフ 7. RF Power 特性グラフ



③ Coil Power 特性 (ノズル角度 XX°)

	30% ↓ A	STD A	30% ↑ A
Rate	59.9A/min	58.2A/min	54.9A/min
Uniformity	± 8.1 %	± 7.5 %	± 6.7 %

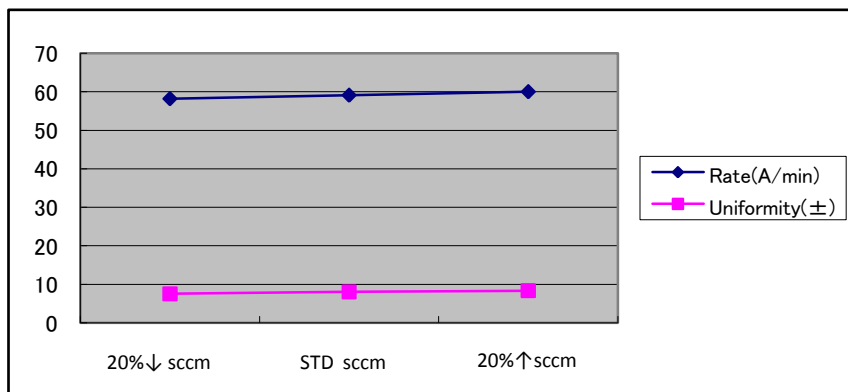
グラフ 8. Coil Power 特性グラフ



④ O2 Flow 特性 (ノズル角度 XX°)

	20% ↓ sccm	STD sccm	20% ↑ sccm
Rate	58.2A/min	59.1A/min	60.0A/min
Uniformity	± 7.5 %	± 8.0 %	± 8.3 %

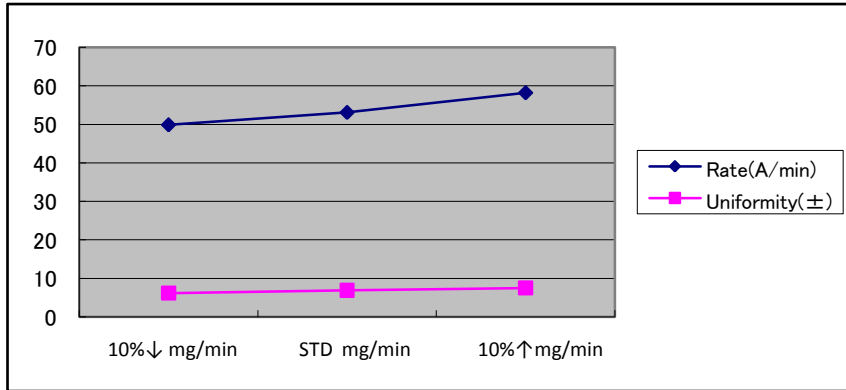
グラフ 9. O2 Flow 特性グラフ



⑤ ソースGas Flow 特性 (ノズル角度 XX°)

	10% ↓ mg/min	STD mg/min	10% ↑ mg/min
Rate	49.9A/min	53.1A/min	58.2A/min
Uniformity	± 6.2 %	± 6.9 %	± 7.5 %

グラフ 10. ソースGas Flow 特性グラフ



3. 3. 3 φ12インチ条件だし (一本ノズル (XX° 、 YY°))

(1) ALO 標準条件成膜

Pressure : -- mtorr C-Ar Flow : -- sccm
 RF Power : -- / ---w ソースガス: --mg / min
 Coil Power : -- / -- A S. Temp : --- °C
 O2 Flow : -- / -- sccm Time : - / -- sec
 N2 Flow : -- / -- sccm

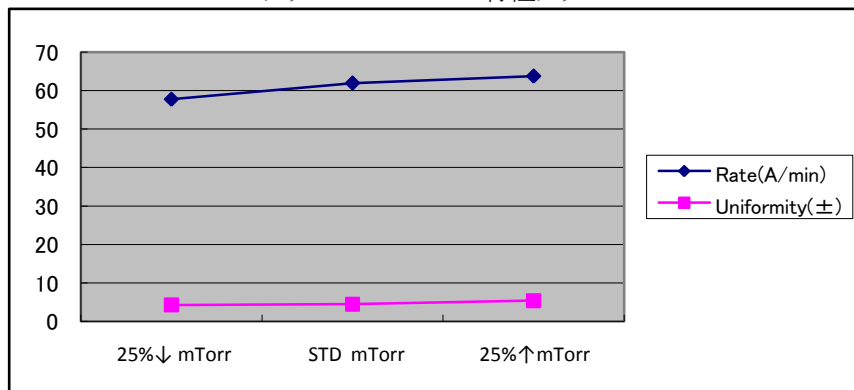
Rate 62.0 A/min
 Uniformity ± 4.5 %

(2) 成膜条件だし

① Pressure 特性 (ノズル一本)

	25% ↓	(STD)mtorr	25% ↑
Rate	57.8A/min	62.0A/min	63.8A/min
Uniformity	± 4.3 %	± 4.5 %	± 5.4 %

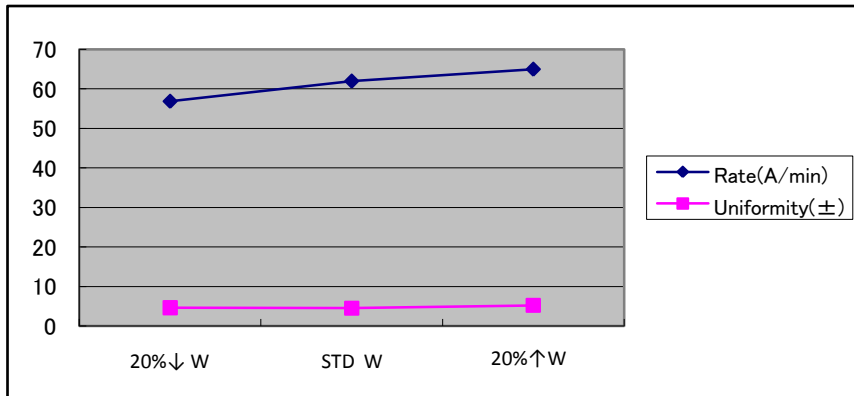
グラフ 11. Pressure 特性グラフ



② RF Power 特性 (ノズル一本)

	20% ↓ W	STD W	20% ↑ W
Rate	56.9A/min	62.0A/min	65.0A/min
Uniformity	± 4.6 %	± 4.5 %	± 5.2 %

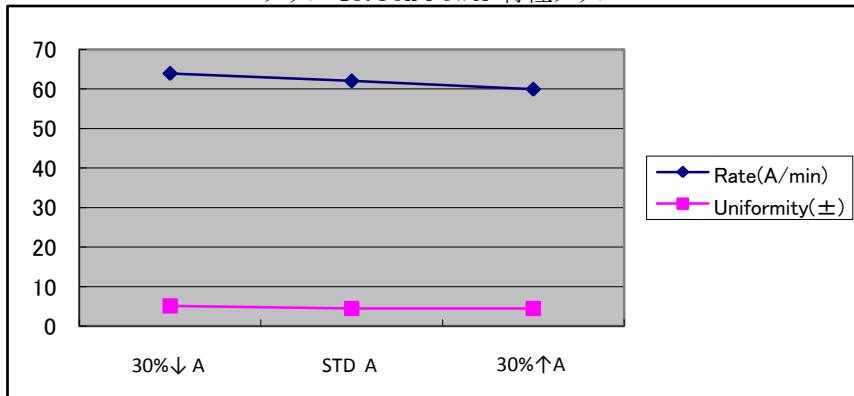
グラフ 12.RF Power 特性グラフ



③ Coil Power 特性 (ノズル一本)

	30% ↓ A	STD A	30% ↑ A
Rate	63.9A/min	62.0A/min	59.9A/min
Uniformity	± 5.1 %	± 4.5 %	± 4.5 %

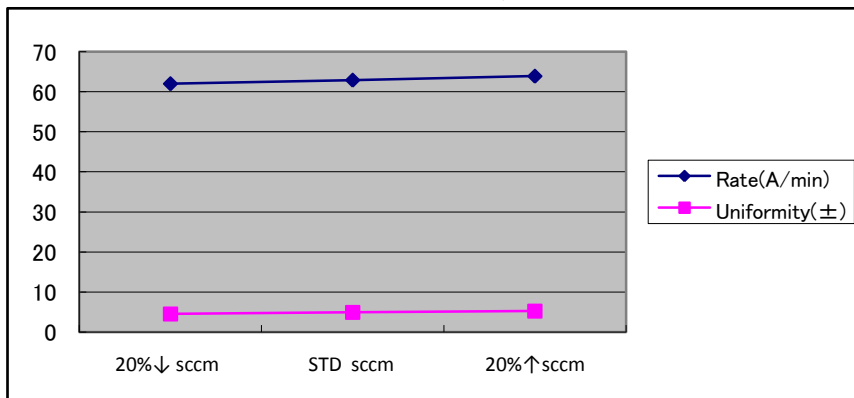
グラフ 13.Coil Power 特性グラフ



④ O2 Flow 特性 (ノズル一本)

	20% ↓ sccm	STD sccm	20% ↑ sccm
Rate	62.0A/min	62.9A/min	63.9A/min
Uniformity	± 4.5 %	± 4.9 %	± 5.2 %

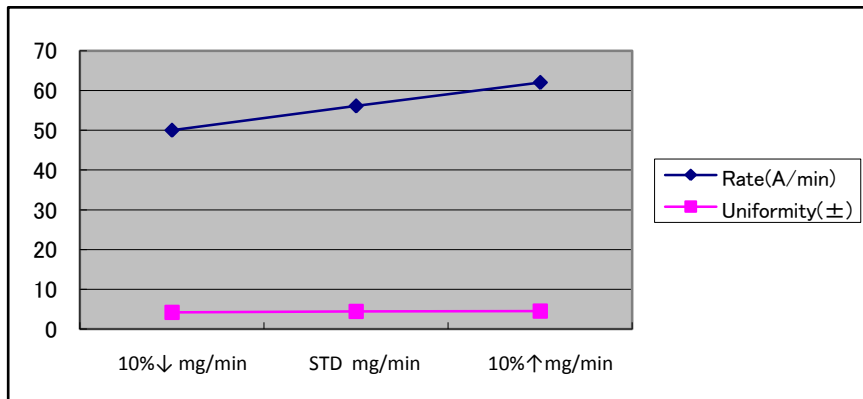
グラフ 14.O2 Flow 特性グラフ



⑤ ソースGas Flow 特性 (ノズル一本)

	10% ↓ mg/min	STD mg/min	10% ↑ mg/min
Rate	50.0 A/min	56.1 A/min	62.0 A/min
Uniformity	± 4.2 %	± 4.4 %	± 4.5 %

グラフ 15. ソースGas Flow 特性グラフ



3. 3. 4 φ 12インチ条件出しまとめ

φ 12インチSi ウェハーでの条件出しに於いて、φ 8インチと同等の屈折率で面内均一性が5%以下の条件出すことが出来た。

「成膜条件」

一本ノズル (XX度, YY度)

Pressure : -- mtorr

C-Ar Flow : -- sccm

RF Power : -- / ---w

ソースガス: --mg / min

Coil Power : -- / -- A

S. Temp : --- °C

O2 Flow : -- / -- sccm

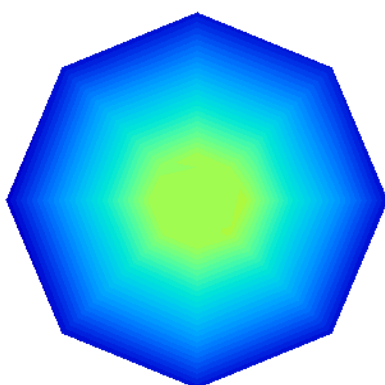
Time : - / -- sec

N2 Flow : -- / -- sccm

Rate 62.0 A/min

Uniformity ± 4.5 %

φ 12インチ成膜量面内マップ

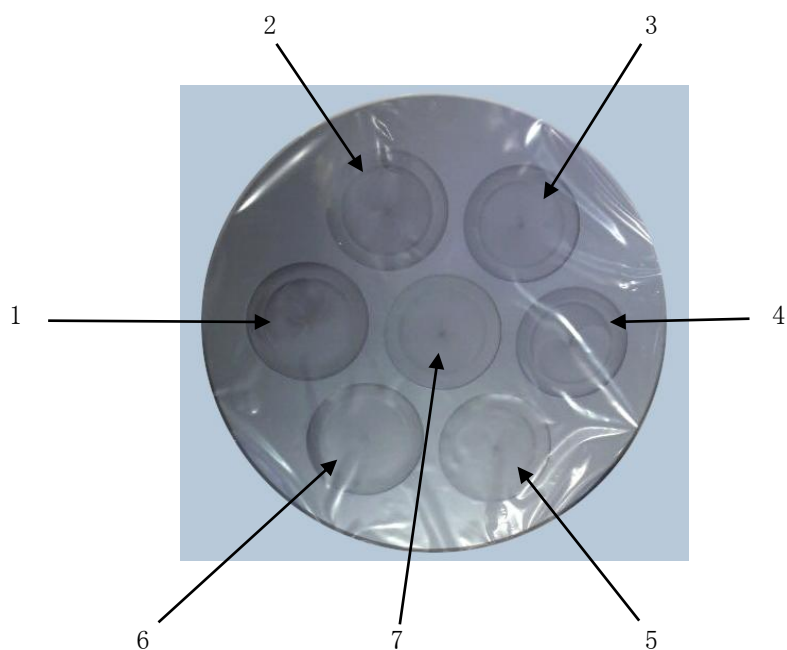


300 350
(単位: Å)

レート: 62.0 Å/min 均一性: ±4.5%と目標値をクリアーすることが出来た。しかし左図の面内分布傾向をサセプターのφ 3インチウェハー位置に当てはめて観ると中心の一枚の成膜レートが他の6枚と比較して早くなりそうである。ミニバッチ間(7枚)の分布は5%以下と予想されるので、問題にはならないと思われる。

3.3.5 7枚サセプター条件確認

(1) 12本ノズル標準条件



サンプル No	Uniformity (%)	Rate (A/min)
1	1.28%	64.89 A/min
2	1.28%	64.98 A/min
3	1.25%	64.96 A/min
4	1.26%	64.85 A/min
5	1.31%	64.92 A/min
6	1.37%	64.91 A/min
7	0.60%	67.99 A/min

ミニバッチ内分布	2.40%
ミニバッチ内レート	65.36 A/min

ミニバッチ内分布	0.10%
ミニバッチ内レート	64.92 A/min

* 7枚目のサンプルを除く

サセプターを用いる事でステージの温度とφ3インチウエハーの表面温度の差が大きくなった為にφ12インチウエハーの成膜再現を得ることが出来なかった。
ウエハー表面温度が同等になる様条件確認を実施

(2) S.Temp 420 °Cに変更条件

サンプル No	Uniformity (%)	Rate (A/min)
1	1.13%	61.82 A/min
2	1.09%	61.88 A/min
3	1.10%	61.87 A/min
4	1.10%	61.77 A/min
5	1.15%	61.82 A/min
6	1.23%	61.83 A/min
7	0.40%	64.47A/min

ミニバッチ内分布	2.13%
ミニバッチ内レート	62.21 A/min

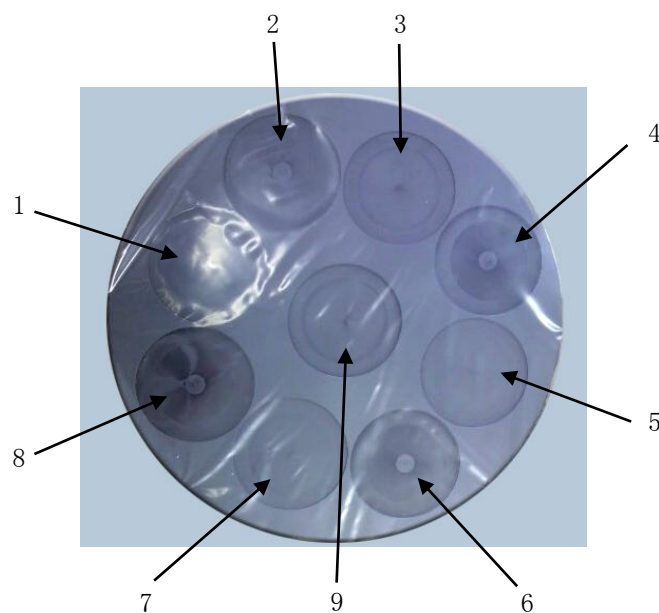
ミニバッチ内分布	0.09%
ミニバッチ内レート	61.83 A/min

* 7枚目のサンプルを除く

ミニバッチ (φ3 インチウエハー7枚) 内の分布は2.1%、レートは62.2 A/min と良好な結果を得ることが出来た。特に中心のNo7 のサンプルを除くとミニバッチ内分布は0.1% と良好な安定性である。

3.3.6 9枚サセプター条件確認

(1) S.Temp 420 °C変更条件



サンプル No	Uniformity (%)	Rate (A/min)
1	1.55%	60.29 A/min
2	1.57%	60.28 A/min
3	1.54%	60.19 A/min
4	1.56%	60.19 A/min
5	1.57%	60.26 A/min
6	1.49%	60.28A/min
7	1.55%	60.48 A/min
8	1.60%	60.50 A/min
9	0.40%	64.75A/min

ミニバッチ内分布	3.52%
ミニバッチ内レート	60.80 A/min

ミニバッチ内分布	0.26%
ミニバッチ内レート	60.31 A/min

* 9枚目のサンプルを除く

(2) S.Temp 420 °C変更条件での1カセット連続成膜

サンプル No	Uniformity (%)	Rate (A/min)
1	1.55%	60.30 A/min
2	1.59%	60.29 A/min
3	1.56%	60.21 A/min
4	1.59%	60.21 A/min
5	1.60%	60.29 A/min
6	1.57%	60.29A/min
7	1.57%	60.46 A/min
8	1.60%	60.48 A/min
9	0.41%	64.79A/min

サンプル No	Uniformity (%)	Rate (A/min)
10	1.57%	60.32 A/min
11	1.55%	60.31 A/min
12	1.54%	60.20 A/min
13	1.54%	60.22 A/min
14	1.56%	60.15 A/min
15	1.49%	60.31A/min
16	1.60%	60.50 A/min
17	1.58%	60.52 A/min
18	0.41%	64.74A/min

サンプル No	Uniformity (%)	Rate (A/min)
19	1.57%	60.30 A/min
20	1.57%	60.30 A/min
21	1.52%	60.22 A/min
22	1.56%	60.21 A/min
23	1.59%	60.28 A/min
24	1.51%	60.30A/min
25	1.57%	60.50 A/min
26	1.60%	60.49 A/min
27	0.41%	64.74A/min

ミニバッチ内分布	3.82%
ミニバッチ内レート	60.81 A/min

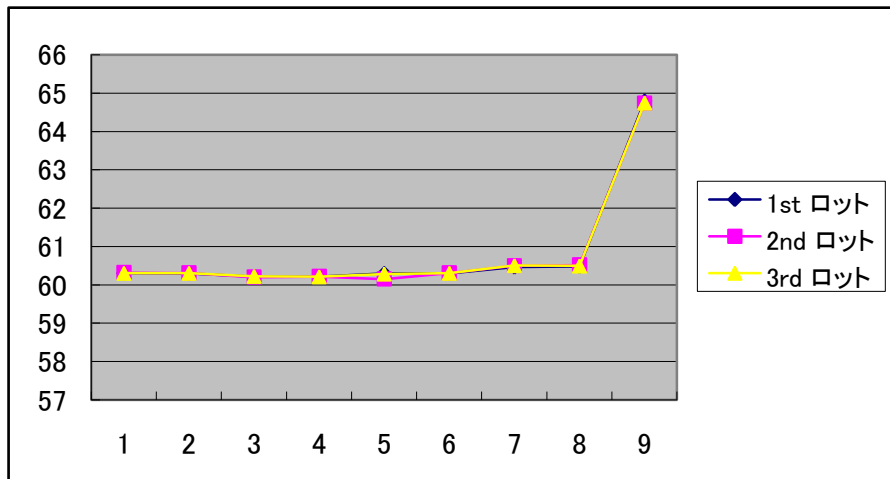
ミニバッチ内分布	0.31%
ミニバッチ内レート	60.32 A/min

* 9, 18, 27 枚目のサンプルを除く

ミニバッチ (φ3 インチウエハー9枚) 内の分布は3.8%、レートは60.8 Å/min と良好な結果を得ることが出来た。特に中心のNo9 のサンプルを除くとミニバッチ内分布は0.3% と良好な安定性である。又、3バッチ連続の再現性も良好で十分量産に使える性能である。

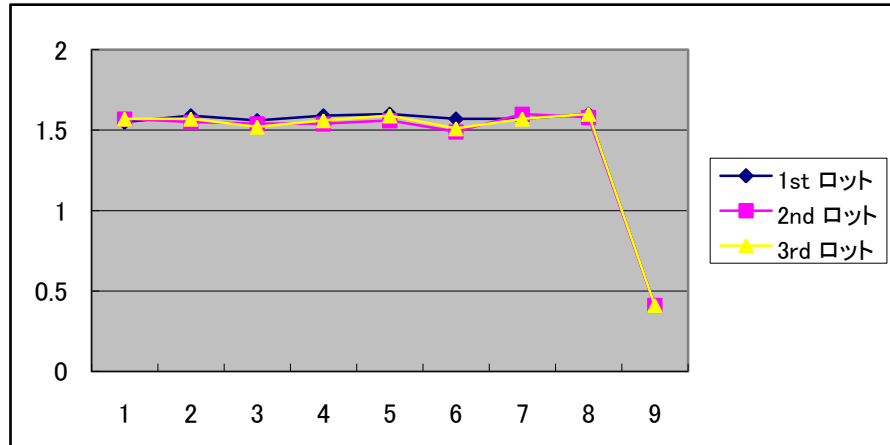
(3) ミニバッチ内(φ3インチ9枚)レート再現性グラフ

グラフ16 レート再現性



(4) ミニバッチ内(φ3インチ9枚)再現性グラフ

グラフ17 分布再現性



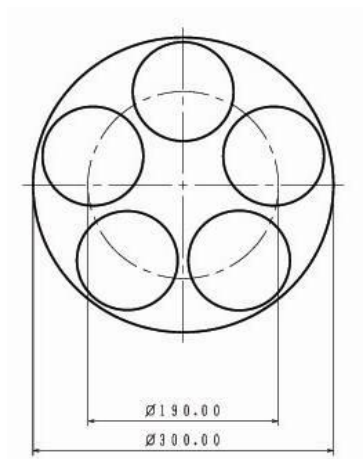
3.4 研究開発結果のまとめ

(1) 研究開発結果

ランニングコストを低減する為に、一括処理(ミニバッチ)枚数を4枚から9枚に増やせる様プロセスチャンバーを大口径化(図2)し9枚のミニバッチ処理の開発を実施した。

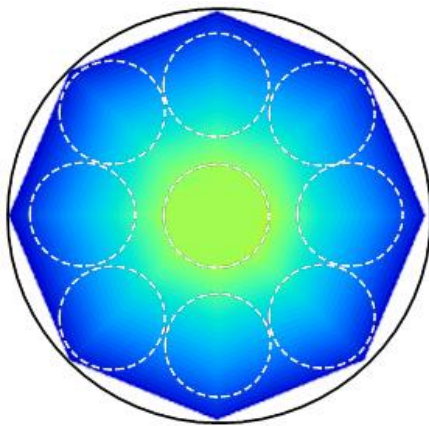
φ3インチウエハー9枚一括処理で全てのφ3インチウエハーの面内均一性を約1.5%、成膜レート60 Å/minを達成する事ができた。又、9枚ミニバッチ処理の3回連続の再現性(グラフ16、17)に示すとうりに良好な再現性が得られた。このことにより従来のφ3インチウエハー4枚のミニバッチ処理に比べて倍以上の処理能力向上を達成した。

図4. Φ4ウエハー5 Wafers サセプター



今回の実験結果から、今後ウエハー口径がφ4インチになっても図4に示すサセプターを製作することによりφ4インチウエハー5枚の一括処理(ミニバッチ)に於いても良好な面内均一性を達成できることが容易に予測できる。

(2) 今後の課題



左図に示す様に中心の一枚以外はφ3インチウエハーの面内分布の傾向は同じだが中心の1枚だけ違う傾向である。又レートも中心の一枚だけが他の8枚より早くなっている。

9枚全ての分布傾向をそろえる為には、プロセスチャンバーの大口径化だけでは無くプラズマを発生させるアンテナ部やマッチングボックスの大口径化が必要である。

そうする事により更なるランニングコストの低減や、デバイスウエハーの大口径化への一早い対応が可能になる。

第三章 研究開発で明らかになった問題点と課題

1. 膜質の向上に関する研究開発

1-1 Al₂O₃膜 問題点と今後の改善案

(問題点)

- ・ トレンチ構造でのC-V特性にて正電圧側の蓄積が得られない。
- ・ トレンチ構造でのC-V特性にて繰り返し再現性が得られない。(正電圧側へシフト)
- ・ 電気特性の温度依存が高い。(Al₂O₃自体の物性特性の可能性か?)

(今後の改善案)

- ・ 成膜温度の高温化 (500℃ 以上)
- ・ High Power 成膜及びパラメータの適正化
- ・ Bias Power 印加でのトレンチ構造成膜 及び 電気特性評価

1-2 今後の課題・開発予定

本研究開発の延長線上にて、Bias印加成膜・高温成膜・High Power成膜を継続して評価する。又、今回の結果を踏まえてのデバイスメーカーとのディスカッションでAl₂O₃自体の物性特性が有る為、高温測定での温度依存性が現れるのではと推測している。この事から、SiCとの親和性が有るAl₂O₃を中心に新たな素材を検討・評価も並行して行っていく。

2. メンテナンスコストの低減に関する研究開発

2-1 今後の課題

- ・ 本研究開発では着手しなかったリサイクル(再生)パーツの加工後の洗浄方法を見直す事で更に5%程度のメンテナンスコスト低減を目標に行っていく。
- ・ 現在の手法でのリサイクル頻度はダストの発生により10 μ m/回としているが、ウェットブラストでのリサイクル(再生)では累積8 μ mではダストの増加傾向が見られないので、累積膜厚限界を今後も観察し、リサイクル(再生)頻度を延ばせる事の確認を行う。

3. ランニングコストの低減に関する研究開発

3-1 今後の課題

- ・ バッチ内均一性は、9枚の内中心の一枚を除けば0.3%と4枚一括処理結果を上回る結果を得ることができている。中心の1枚の成膜速度を他の8枚と同等にする為には、プロセスチャンパーの大口径化だけではなくプラズマ生成部とマッチングボックスの大口径化が必要である。

以上