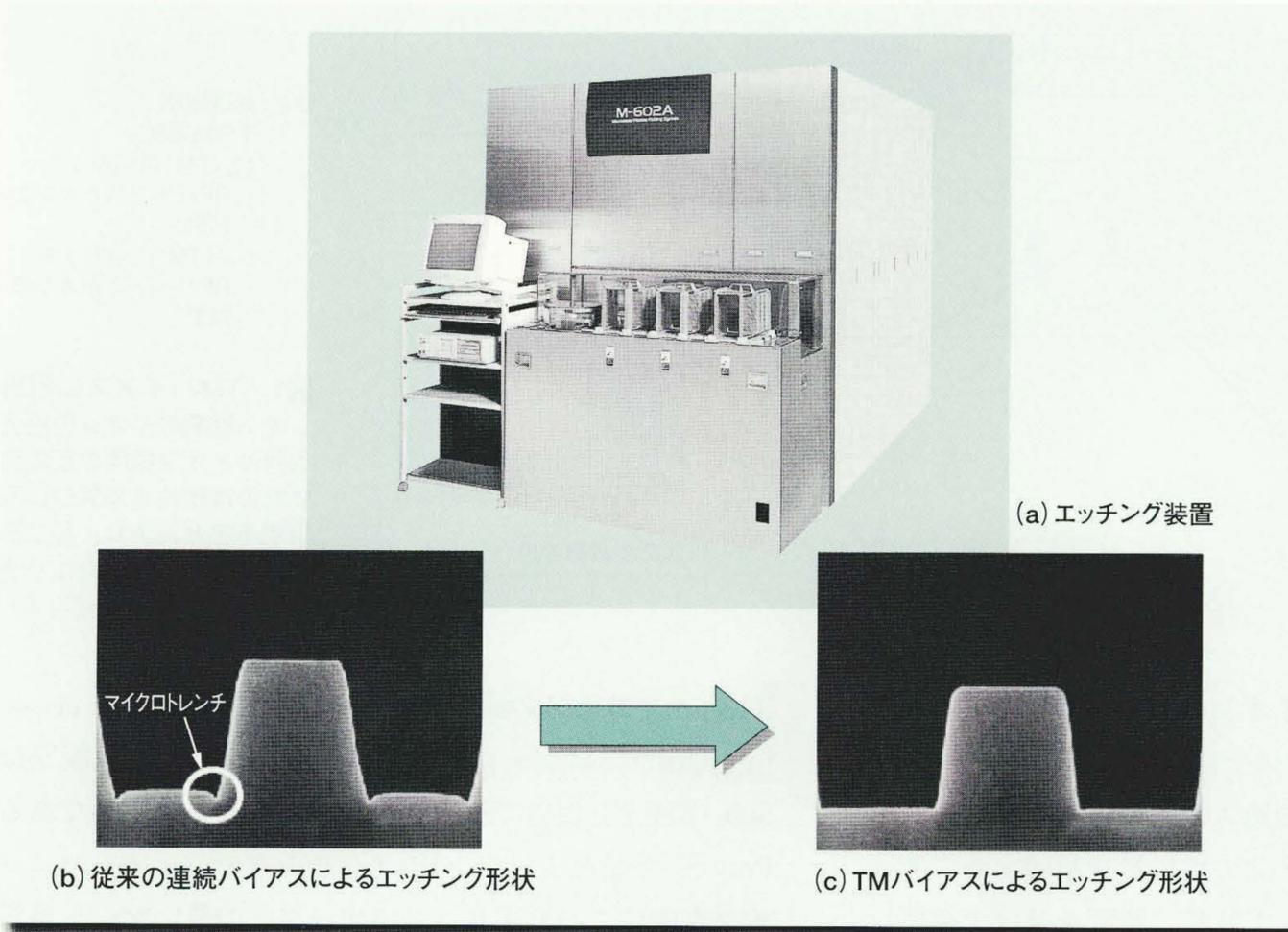


新たなバイアス制御技術を用いた マイクロ波プラズマエッチング装置

New Microwave Plasma Etching System Using Time Modulation Bias Technology

大形俊英 *Toshihide Ôgata* 小野哲郎 *Tetsuo Ono*
中田健二 *Kenji Nakata*



注：略語説明
TM (Time Modulation ;
時間変調)

エッチング装置(a)と、新
旧方式によるエッチング
形状比較

TMバイアスにより、形状
制御性に優れた高選択加工
[(c)参照]が実現できる。

半導体デバイスの微細化と薄膜化に伴い、エッチング装置では、厳しいCD(Critical Dimension)制御の下で極薄ゲート絶縁膜を高選択にかつチャージングダメージなく加工することが重要となる。

日立製作所はこれらの課題を解決するために、プラズマ中のイオンエネルギーを独立に制御できるマイクロ波プラズマエッチング装置用として、RF(Radio Frequency)バイアスのオンオフをミリ秒オーダーで周期的に繰り返すTM(Time Modulation：時間変調)バイアス技術を開発した。

TMバイアス技術により、従来の連続バイアス方式では不可能なレベルの高異方性と高選択性の両立が実現でき、加工形状(あるいはトポグラフィ)に依存するミクロなチャージングダメージも抑制することができた。

この技術を適用した装置が従来仕様の装置と異なる点はバイアス用の電源と若干のソフトウェアだけであり、簡単な改造によって従来装置の性能向上が図れる。

TMバイアス技術は、今後の0.10 μm以降のデバイス加工でも有効なものになると考える。

1 はじめに

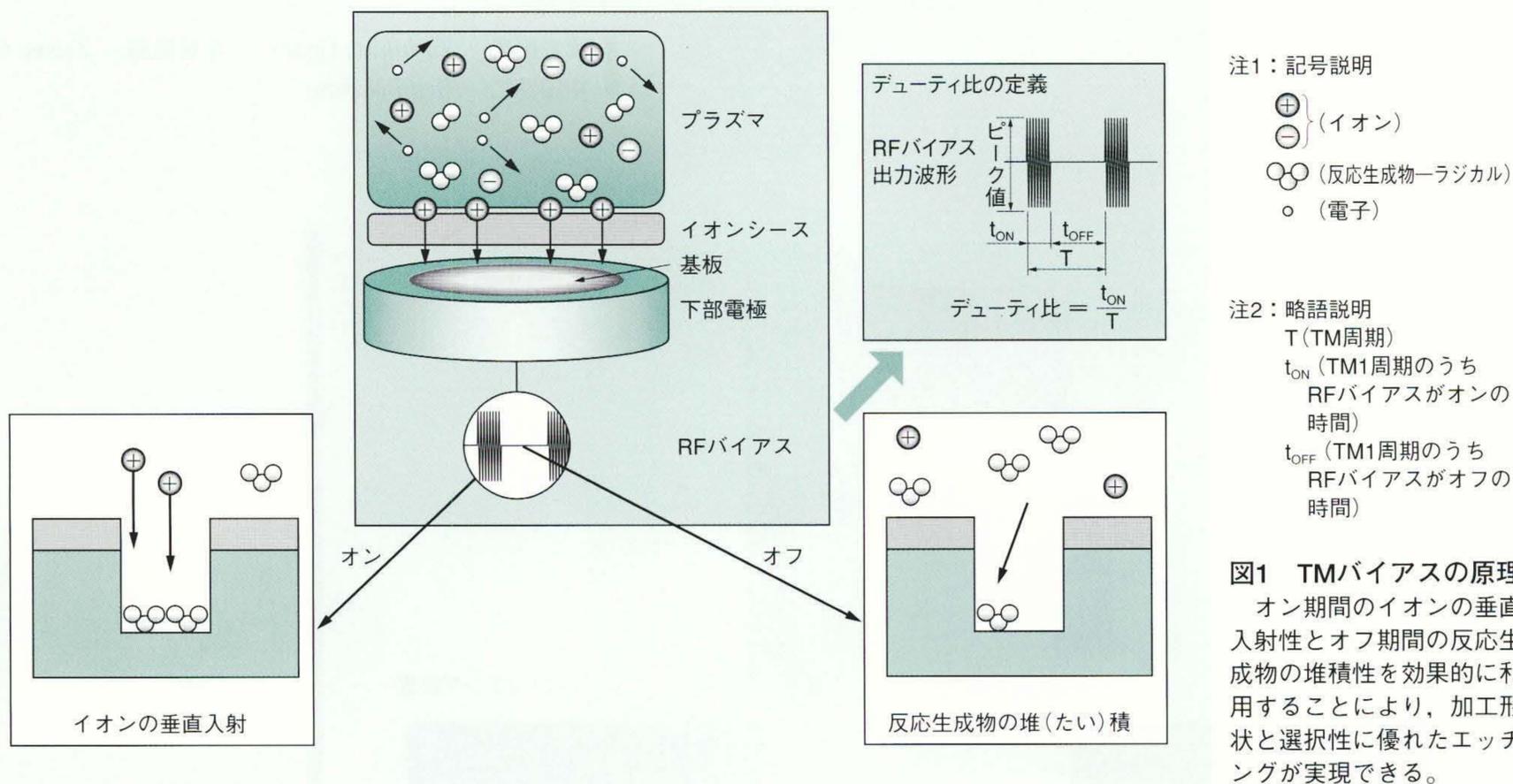
半導体デバイスの微細化と薄膜化に伴い、エッチング装置では、厳しいCD(Critical Dimension)制御の下で極薄ゲート絶縁膜を高選択にかつチャージングダメージなく加工することが重要となる。

従来装置ではこれらの課題を同時に解決することが困難になりつつあり、新しい技術開発が求められていた。

ここでは、これらの課題を解決する方法として開発したマイクロ波プラズマエッチング装置のTM(Time Modulation：時間変調)バイアス技術について述べる。

2 TMバイアスの原理と特徴

TMバイアスとは、基板に印加するRF(Radio Frequency)バイアスのオンオフをミリ秒オーダーで周期的に繰り返す方法である(図1参照)。



従来の連続バイアスではイオンの加速エネルギーしか制御できないが、TMバイアスでは、オン期間のRFバイアスのピーク値でイオンの加速エネルギーを制御し、デューティ比で加速されたイオンの供給量を制御することができる。これらはエッチング特性に影響を及ぼす重要な要因であり、TMバイアスでは、オン期間のイオンの垂直入射性とオフ期間の反応生成物の堆積性を効果的に利用することにより、従来技術に比べて加工形状と選択性に優れたエッチングが実現できる。

また、TMバイアスでは、デバイスの微細化に伴って問題となる電子シェーディング効果^{※)}によるダメージも低減することができる。これは、バイアスのオフ期間にゲートにチャージアップした電荷が速やかに中和化するので、エッチング処理中にゲートを通る電荷量の積算値が低減するためと考えられる。

3 エッチング性能

3.1 ゲート電極材料の高選択エッチング

デバイスの微細化に伴ってゲート絶縁膜も薄膜化し、

※) 電子シェーディング効果：イオンが試料に垂直入射するのに対して電子はランダムな方向から入射するため、レジストパターンの側壁が負にチャージアップし、密パターンではこの負電荷に反発されて、比較的低速の電子がパターン底へ入れなくなる現象

0.13 μm プロセスの時代になると、MPU (Microprocessing Unit)ではゲート長が0.10 μm 、ゲート絶縁膜厚はSiO₂ (酸化膜)相当で2~3 nmになる¹⁾。ゲート電極であるPoly-Si (多結晶シリコン)のエッチングでは、オーバエッチング中にこの原子レベルのオーダーの薄いゲート絶縁膜をほとんどエッチングしない、高い選択性が要求される。

TMバイアスをオーバエッチングに適用することにより、加工形状に影響を及ぼすことなく、下地絶縁膜に対して高い選択性を実現できる。

TMバイアスでデューティ比を変えたときのPoly-Siのエッチング速度と対SiO₂選択比との関係を、連続バイアスでバイアスパワーを変えたときのそれと比較して図2に示す。Poly-Siのエッチング速度が200 nm/minのとき、TMバイアスの対SiO₂選択比は、連続バイアスに比べて約1.5倍に向上している。

TMバイアスをオーバエッチングに適用したときのPoly-Siの断面形状と、エッチング後に水酸化カリウム水溶液で下地のSiO₂膜をウエットエッチングして残膜厚を測定したときの試料表面状態を、従来の連続バイアスと比較して図3に示す。同図ではTMバイアスと連続バイアスで同じPoly-Si量をオーバエッチしているが、TMバイアスでも異方性形状を損なうことがなく、かつ酸化膜がウエットエッチされて、基板シリコンにエッチピットが生じるまでの時間が長い。すなわち、連続バイアスと比較して厚い酸化膜が残っている。

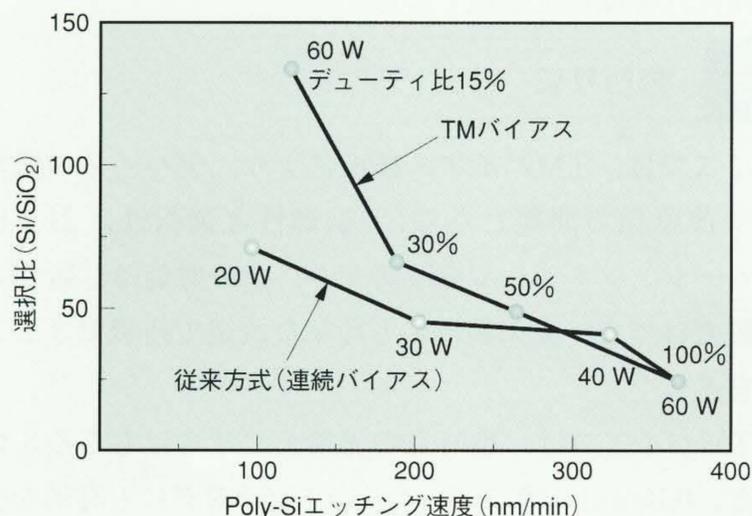


図2 従来方式とTMバイアスとの選択比の比較

TMバイアスでは、従来の連続バイアスと比較して対SiO₂選択比が約1.5倍(Poly-Siのエッチング速度が200 nm/minの場合)に向上し、同一のオーバエッチング量で下地SiO₂膜のロスを少なくすることができる。

3.2 ゲートエッチングの形状制御性向上

ゲートエッチングでは、ゲート寸法がデバイス性能に直接影響するために、10 nm以下の厳しいCD制御が要求され、マスク寸法どおりに垂直に加工することが必要である。

TMバイアスをメインエッチングに適用することにより、垂直加工性を向上するとともに、マイクロトレンチなどの形状異常を抑制できる(図4参照)。ここでは、連続バイアスとTMバイアスとの選択比が同等となるよう

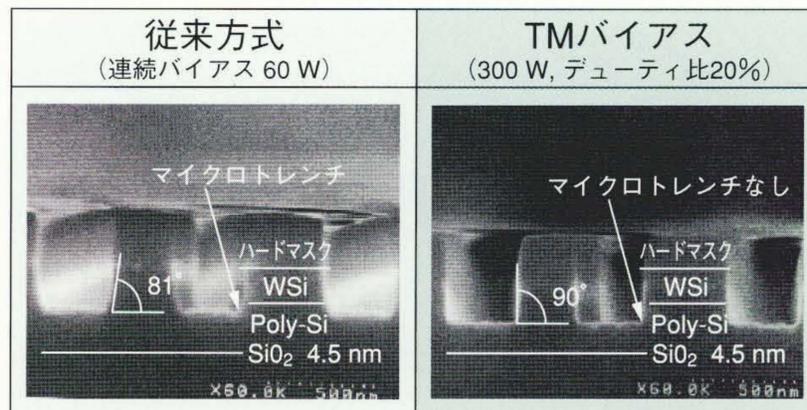


図4 従来方式とTMバイアスとのWSi/Poly-Siエッチング形状比較

メインエッチングにTMバイアスを適用することにより、垂直性が良好で、マイクロトレンチなどの形状異常のない加工ができる。

に、TMバイアスでの電力ピーク値とデューティ比を選定してある。このときのPoly-Siのエッチング速度はいずれも300 nm/min以上であり、生産に十分な値である。WSi/Poly-Si膜(タンガステンシリサイドと多結晶シリコンの2層膜)をPoly-Siの途中までエッチングした断面形状では、連続バイアスでテーパ状(テーパ角81°)になるのに対して、TMバイアスではほぼ垂直(90°)に加工でき、マイクロトレンチなどの形状異常も見られない。

3.3 チャージングダメージの低減

電子シェーディング効果によるダメージを評価するために、くし形アンテナ素子を用いてゲートの電流—電圧特性を測定した。ダメージ評価用のウェーハは、p型シリコン基板上にゲート酸化膜4.5 nm、Poly-Si膜170 nm厚、レジスト膜1 μm厚をそれぞれ堆積した構造である。

Poly-Siのエッチング速度がほぼ等しくなるように調整した連続バイアスとTMバイアスによる、ゲートエッチング後のゲート酸化膜の耐圧分布を図5に示す。濃い緑色の部分がゲート破壊を示す。くし100本アンテナ比1,485の素子でのゲート破壊率はそれぞれ、連続バイアスで39%、TMバイアスで6%となり、TMバイアスにより、チャージングダメージを低減できる。

従来方式でチャージングダメージが問題となっていたデバイスにTMバイアスを実際に適用することにより、ゲート破壊を無くすことができた。

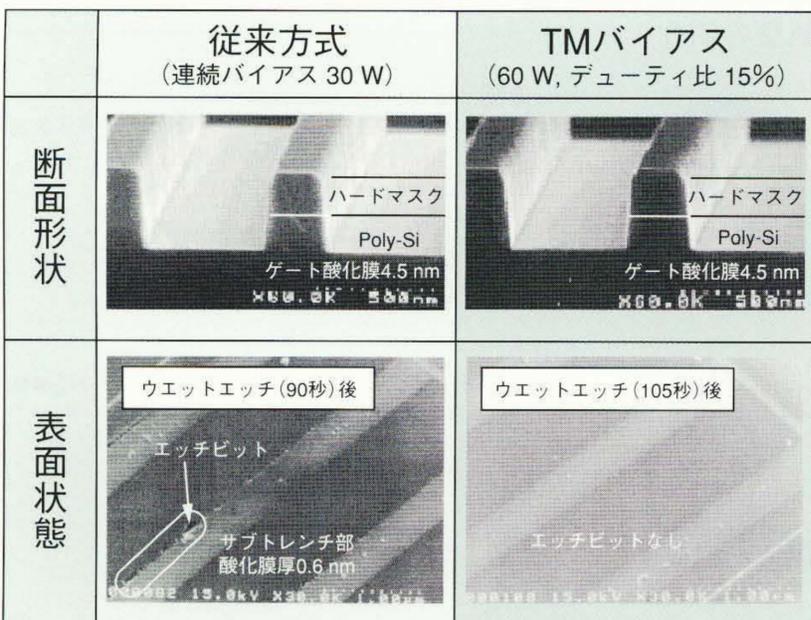


図3 従来方式とTMバイアスとのPoly-Siエッチング形状とウエットエッチング後の表面状態の比較

オーバエッチングにTMバイアスを適用しても、異方性形状が得られる。連続バイアスでは90秒のウエットエッチングでエッチピットが生じるが、TMバイアスでは105秒後もエッチピットがなく、酸化膜の残膜が厚いことがわかる。

4 構成および仕様

マイクロ波プラズマエッチング装置にTMバイアスを適用する場合の従来装置との変更点は、RF電源をTM機能付きの電源に変更することと、それに伴うソフトウェアの若干の変更だけである。装置のシステム構成やシステム性能は、従来装置と基本的に同一である。

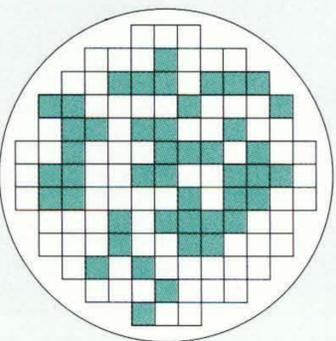
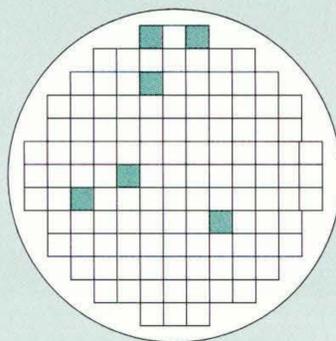
従来方式 (連続バイアス30 W)	TMバイアス (150 W, デューティ比20%)
	
不良率 39%	不良率 6%

図5 ゲートエッチング条件でのTMと連続バイアスのチャージングダメージ比較(0.5 μmライン アンド スペース, くし100本アンテナ比1,485)

TMバイアスにより, チャージングダメージによるゲート破壊を減少できる。

TM機能付き電源と従来電源を比較した仕様を表1に示す。TMバイアスでは電力のピーク値を従来の連続バイアスよりも高くする必要があるため, 従来電源の最大出力が500 Wであるのに対して, TM機能付き電源の最大出力は1,500 Wである。最大出力が150 Wの従来電源に対しては, 最大出力が500 Wの電源を準備している。電源の高さ寸法が従来に比べて高くなるが, 排気用ドライポンプを別ユニットとして設置する場合には, 専有面積は変わらない。

エッチングステップによっては連続バイアスを使用したほうが好ましい場合もあるので, TM機能付き電源では, 連続とTMのバイアスモードをエッチングステップごとにレシピで選択して使用できる。

TMバイアスでは, 300 mmウェーハ対応の「M-700シリーズ」²⁾や, 従来機種「M-300シリーズ」³⁾, 「M-500シリーズ」⁴⁾, 「M-600シリーズ」⁵⁾にも電源とソフトウェアの

表1 従来電源とTM機能付き電源の仕様比較

TM機能付き電源は, 連続バイアスとTMバイアスの二つのモードをレシピで選択できる。

項目		従来電源(500 W)	TM機能付き電源(1,500 W)	
入力	入力電源	AC200 V, 単相 6 A	AC200V, 三相 20 A	
	バイアスモード	連続	連続	TM
出力	電力(Pf)	50~450 W	25~270 W	25~1,400 W
	寸法 (幅×奥行き×高さ)	480×565×149 (mm)	480×552×349 (mm)	

交換だけで機能を搭載できる。

5 おわりに

ここでは, TMバイアス技術により, デバイスの微細化や薄膜化で問題となるCD制御性と選択性, およびチャージングダメージを改善でき, その機能は, 新規の装置だけでなく従来装置にも簡単な改造で搭載できることを述べた。

TMバイアスは, 現時点の先端デバイスはもちろんのこと, 0.10 μm以降のデバイスのエッチングにも有効な技術である。

今後とも, エッチング技術開発を通じて新たな装置をユーザーに提案し, 微細加工技術の進展に貢献していく考えである。

参考文献

- 1) Semiconductor Industry Association (SIA) : The International Technology Roadmap for Semiconductors 1998 Update, <http://www.itrs.net/ntrs/publntrs.nsf>
- 2) 吉岡, 外: 300 mm対応マイクロ波プラズマエッチング装置, 電子材料, 1998年3月号, p.64
- 3) 川崎, 外: ドライエッチング装置, 日立評論, 71, 5, 387~392(平1-5)
- 4) 大形, 外: マイクロ波プラズマエッチング装置「M-500シリーズ」, 電子材料, 1995年3月号, p.116
- 5) 川原, 外: マルチチャンバ型マイクロ波プラズマエッチング装置, 日立評論, 79, 10, 795~798(平9-10)

執筆者紹介



大形俊英

1978年日立製作所入社, 電力・電機グループ 半導体製造装置推進本部 電子デバイス装置部 所属
現在, ドライエッチング装置の営業技術に従事
応用物理学协会会员
E-mail : dsohga @ cm. head. hitachi. co. jp



中田健二

1981年日立製作所入社, 電力・電機グループ 笠戸半導体装置本部 半導体装置設計部 所属
現在, ドライエッチング装置の設計業務に従事
E-mail : nakata @ kasado. hitachi. co. jp



小野哲郎

1980年日立製作所入社, 電力・電機グループ 笠戸開発センター 所属
現在, ドライエッチング装置の開発に従事
応用物理学协会会员
E-mail : t-ono @ ddc. hitachi. co. jp