

1. UHF 帯 ECR プラズマ

板 橋 直 志,沖 川 満 (技術研究組合 超先端電子技術開発機構) (1997年10月13日受理)

UHF-Band ECR Plasma

ITABASHI Naoshi and OKIGAWA Mitsuru Association of Super-Advanced Electronics Technologies (ASET), Yokohama, Kanagawa 244, Japan (Received 13 October 1997)

Abstract

Characteristics of Ultra High Frequency-band Electron Cycrotron Resonance (UHF-band ECR) plasma for silicon-dioxide (SiO₂) etching have been investigated, with a focus on the effects of source frequency and wafer biasing on the composition of active species in C_4F_8/Ar plasma. The results show that the plasma characteristics at 500 MHz and 915 MHz are different in terms of electron energy and plasma structure, thereby affecting the composition of the active species in C_4F_8/Ar plasma. It was also shown that surface interactions, such as those reactions occuring on a resist surface, are significant in considering the plasma composition optimal for SiO₂ etching in Ultra-Large Scale Integrated (ULSI) circuit fabrication. The directions for plasma control are discussed in terms of gas flow, electron density, electron energy, and plasma structure, to explain how to adjust the apparatus parameters and chemical parameters to a condition for the selective etching of SiO₂.

Keywords:

UHF-band ECR plasma, plasma etcher, plasma etching, SiO₂, silicon-dioxide, C_4F_8 , C_4F_8 /Ar plasma, selective etching, ULSI fabrication

1.1 はじめに

本稿では、プロセス用の新しい高密度プラズマという 内容で、プラズマ物理的な観点よりも、むしろ、「何故、 このような形態のプラズマソースをプロセスに適用しよ うとしているのか?」といった部分について述べる.

半導体プロセスでは、ウエハの大口径化と高速処理に よるコストパフォーマンスの高い生産を行っていかなけ ればならないため、処理に必要なプラズマは、大口径の 高密度なプラズマとなる.たとえば、現世代のエッチン グプロセスでは、10¹¹ cm⁻³ 程度の密度のプラズマで、 直径8インチ(200 mm)のウエハの全面処理を行って いる.さらに、次世代に向けては、直径12インチ(300 mm)の生産ラインとなるため、研究開発は、スケール 拡張に伴う課題の検討を中心に進められている.このように,ここで扱うプラズマのリアクタ寸法は,直径 400 ~500 mm 程度であり,圧力としては,数 100 mPa から数 Pa 程度である.また,数 10 から数 100 sccm とかなり速いガス流速を用いて,プラズマで次々とガスを分解していく.したがって,ここで紹介するプロセス用のプラズマは,物理で扱う高真空内での粒子間の衝突や,荷電粒子のトラップ,場による閉じ込めや共鳴現象などのイメージとは趣の異なるものである.プロセスガスの分解によって生じた反応性の高いラジカルや材料処理によりウエハ面から発生した多量の反応生成物が漂うプラズマで,反応壁にはこれら粒子が頻繁に吸着,脱離を繰り返している状況を思い浮かべて頂きたい.

本稿に述べる UHF 帯 ECR (Ultra High Frequencyband Electron Cycrotron Resonance) プラズマは、シリ コン酸化膜エッチングを対象としており,加工寸法では, 0.1 µm レベルの構造の加工を対象とする.シリコン酸 化膜エッチングでは、代表例としては、C4F8/Ar ガス をベースにしたプロセスが行われている[1,2]. これは, シリコン酸化膜を SiO₂(solid) + C_xF_y(gas)→SiF_n(gas) + CO_m(gas) という形でエッチングでき,一方,下地層に シリコンが露出した場合には、シリコンは酸素原子を含 んでいないため、右辺の COm が表面より蒸発できなく なり、カーボン性の堆積膜が表面を覆うためシリコンは エッチングされないという、選択エッチングのためのガ ス系である.このとき、プラズマの役割は、ガス分解の 程度だけでなく、内壁材料との相互作用も考慮に入れて 気相の化学組成を如何に制御するかという点にあるた め,安定的に処理条件を維持できるプラズマ設計が重要 となる.

このような,かなり条件付きの状況をどのように考え ていくかということ,その中から超大規模集積回路 (Ultra Large-Scale Integrated : ULSI) 製造のためのより 微細な構造形成の指針をどのように抽出していくかとい うことに関して,プラズマ診断結果を通して考えてみる. プラズマユーザの意図と合うようにどのようにプラズマ を制御するかということを説明していきたい.

1.2 エッチングプラズマ内の活性種組成制御

エッチングガスとして,代表的に C₄F₈ ガスを考える. この場合のプラズマ中のガス分解の様子を Fig.1 に示 す. ウエハの処理を効率良く行うためには、ガスをウエ ハの表面に付着しやすいラジカルに分解する必要があ る、ここで、分解により生ずるラジカルは、たとえば、 C_2F_x , CF_x , F, C などである. 母ガスの状態では C と Fとの元素含有比は1:2であるが、ラジカルの表面へ の付着確率は、ラジカルによりそれぞれ異なるため、エ ッチング中の表面に堆積する膜の C/F 含有比率は、プ ラズマによるガス分解の程度に依存する.また,エッチ ングは、この表面堆積膜に対し Ar⁺などのイオンの入 射エネルギーのアシストにより進行するので、ウエハに 入射するイオンの量(フラックス)と入射エネルギーに 適合した組成比と膜厚を維持しなければならず、これを 逸脱すれば、エッチングしたいシリコン酸化膜上に不本 意に膜が堆積してしまったり、あるいは、エッチングし たくないシリコン層がエッチングされてしまうことにな る.実際のプロセスでは、さらに、有機材質よりなるパ



Fig. 1 Dissociation of C_4F_8 in the plasma and sticking of radicals on the surface.

ターン形成用のレジストマスクや下地の回路を絶縁して いるシリコン窒化物との間にも選択性を確保することが 必須になってくるため、条件設定にも非常に高い精度が 必要とされ、また、さまざまな添加ガスも考えられてい る.このように、ここで対象とするプラズマでは、活性 種の組成制御が重要であり、研究は、(1)母ガス、添加ガ スを含めた気相の化学組成制御、(2)ウエハを含むリアク 夕壁の状態制御、(3)プラズマ生成制御による電子衝突解 離の制御といった観点から取り組まれている.以下には、 この中で、特に(3)に関して、プラズマ励起周波数を変化 させた場合と、(2)に関して、ウエハにバイアスを印加し た場合のプラズマの変化を調べた結果について述べ、こ れらの考察より「どのようなプラズマソースをプロセス に適用しようとしているのか」を説明していく.

1.3 実験

UHF帯 ECR プラズマエッチング装置(スーパ ECR, 日立製作所)[3-6]のリアクタ構成を Fig. 2 に示す.本 装置は、磁場発生用のソレノイドコイルならびに電磁波 放射アンテナを有するプラズマチェンバを搭載した 8 イ ンチウエハ対応のプラズマエッチング装置である.プラ ズマ励起用の電磁波と磁場との間での相互作用を利用し て高効率にプラズマを生成する.

現在,産業用の ECR プラズマエッチング装置では, プラズマ励起周波数として 2.45 GHz が広く用いられて いるが,本実験用エッチング装置は,プラズマ励起用電 磁波の低周波数化によるプラズマ特性の安定均一化をコ 講

座

板橋,沖川



Fig. 2 Reactor schematic of a UHF-band ECR plasma etcher.

ンセプトとしており,500 MHz ならびに 915 MHz の 2 台のプラズマ励起用電源を装備している.言い替えれば, 「プラズマ励起周波数で,プラズマ特性とエッチング特 性がどう変わるのか?」を調べることのできる装置であ る.電磁波伝送路ならびに導入方式には,同軸方式が用 いられており,電磁波放射アンテナには,電磁波の周波 数に合わせて特性寸法に設計された平面アンテナが用い られている.プラズマ特性の空間分布を解析するため, アンテナとウエハステージの各々が上下に移動でき,こ れに合わせて3つのソレノイドコイルにより形成される 磁束密度分布も相似形のまま上下に移動できる.また, プローブ分析や分光分析等を行うため,各種ポートが設 けられている.

1.4 結果と考察

1.4.1 Ar プラズマ特性

プラズマ特性の一例として、プラズマ励起周波数が 500 MHz のときにトリプルプローブ(フローティング プローブ)を用いて測定した Ar プラズマ中の電子密度 ならびに電子温度を Fig. 3 に示す.電子密度は、 10^{11} cm⁻³ 台前半であり、プラズマ励起パワーの増加にした がって直線的に増加した.一方、電子温度は、 $1.5\sim 2.5$ eV 程度の値となった.プラズマ励起周波数が 915 MHz のときには、電子密度は、 10^{11} cm⁻³ 台後半 $\sim 10^{12}$ cm⁻³ 台前半となり、また、電子温度は、 $2.0 \sim 3.0$ eV 程度と なった.以上の UHF 帯 ECR プラズマ特性を、2.45GHz 帯 ECR プラズマのデータ[7]と併せて Fig. 4 にプ ロットする.電子温度は低周波数ほど低くなる傾向とな



Fig. 3 Electron density and electron temperature versus 500 MHz source power.



Fig. 4 Electron density and electron temperature versus source frequency.

っており、電子密度も周波数に対して変化している.

このことを、さらに詳しく調べるために、ウエハ面に 垂直な軸上に沿った電子密度のz方向分布を計測した結 果を Fig. 5 に示す、プラズマ励起のパワーは、1.1 Pa、 z = 60 mm での電子密度がほぼ等しくなるように、500 MHz では 900 W, 915 MHz では 485 W に設定した. グ ラフ上で, ウエハ面は z = 0 mm の位置であり, アンテ ナ面は z = 130 mm の位置である. 500 MHz では, 圧力 上昇に伴い, 電子密度が増加しており, 高圧側では, z方向の中央部で密度が高くなっている. しかし, 915 MHz では, 圧力に対して電子密度は増加しておらず, 異なる特性を示している.

Fig. 6 には,同じ条件で,Ar (750.4 nm) ならびに Ar⁺ (465.8 nm) 発光の強度分布を観測した結果を示す. Ar (750.4 nm) ならびに Ar⁺(465.8 nm) は, Fig. 7 に示すよ うに,基底状態から発光上準位への励起エネルギーが. それぞれ、13.5 eV、19.8 eV であるため、発光強度は、 プラズマ中の電子エネルギー分布のうち、これらのしき い値以上のエネルギーを持つ電子の数の情報を反映して おり、これにより、プラズマ内の電子の持つエネルギー の大小を大づかみに把握することができる[8].ここで は、厳密な意味での発光過程の解釈ではなく、より高い 準位からのカスケーディングや準安定準位からの励起な どによる寄与等は無視して考え, プラズマ中の電子エネ ルギーの大小を比較する指標として用いる. Ar (750.4 nm) と Ar⁺ (465.8 nm) 発光の強度は分布が大きく異な っており、また、500 MHz と 915 MHz で大きく異なっ ている.以上の Fig.5 ならびに Fig.6 のデータを周波数 で比較するため、プロセスで用いられる一つの条件に近 い圧力 2.7 Pa のデータについて Fig. 8 に以下のように 整理した.発光強度は,基底状態の原子またはイオンの 密度[Ar]または[Ar⁺], 電子密度 N_e と, 電子エネルギー 分布関数 $f(\varepsilon)$,電子の速度関数 $v(\varepsilon)$,発光断面積 $\sigma(\varepsilon)$ の積を発光しきい値以上のエネルギーについて積分した 量 $\langle \sigma_{Ar}v \rangle$ または $\langle \sigma_{Ar^*}v \rangle$ との積に比例する (Fig. 7). したがって、実験で得られた発光強度を、Ar について は電子密度で割り、Ar⁺については電子密度の2乗で

割ることにより、 $\langle \sigma_{Ar}v \rangle$ ならびに $\langle \sigma_{Ar}+v \rangle$ に比例する 量が求まる.このような $\langle \sigma_{Ar}v \rangle$ ならびに $\langle \sigma_{Ar}v \rangle$ に 比例する量をグラフの縦軸にとった.このパラメータは、 電子密度に依存しない電子のエネルギーのみの情報を表 している. z方向の全域にわたって 500 MHz の方が、 915 MHz よりも電子エネルギーが低くなっており、Fig. 4に示すトリプルプローブでの結果と対応する.また, 上流部に見られるエネルギーの高い領域を示すピークの 位置が、プラズマ励起周波数により異なっている.また、 Fig.9には、Fig.5に示した電子密度を圧力依存性とし て再びプロットした. これらの結果は、プラズマ励起周 波数の変化に伴う、衝突や電磁波の侵入深さなどの物理 機構の変化や,圧力が高く衝突の多い条件の中でのプラ ズマ加熱機構の変化を示唆するが、厳密な解釈はできて いない. また, 消滅過程では, 周波数低減に比例して, 共鳴磁場強度も小さくなるため、磁場勾配に沿った方向 への両極性拡散速度もこれに比例して小さくなる. この ことから,低周波ほどロスが小さいことになる. 定常状 態において、電子温度は主に体積生成と表面損失のバラ ンスによって決まるため[9],低周波ほど低い電子エネ ルギーでプラズマが維持できるのかもしれない.

以上の周波数特性について, エッチングガスの分解ケ ミストリを考慮しながら考察する.一つとして, 分子の 解離度の制御という観点を考える.現在までのさまざま なシリコン酸化膜エッチング特性の検討からは, C₄F₈ ガスの解離を過度に行うと反応性の高い原子状の F が 多くなり,シリコンとの選択性を低下させると考えられ ている.プラズマ中でのエッチングガスの解離度は,電 子の持つエネルギー,すなわち,プラズマ中の電子エネ ルギー分布と,プラズマ体積とガス流速より決まるガス の滞在時間により決まる.電子のエネルギーが非常に高 ければ解離は進行するし,また,ガスがプラズマ中に長



Fig. 5 Axial distributions of electron densities at 500 MHz and 915 MHz.

講 座



Fig. 6 Axial distributions of emission intensities of Ar (750.4 nm) and Ar + (465.8 nm) at 500 MHz and 915 MHz.





く滞在すれば、次々と多数回の衝突を受け $C_4F_8 \rightarrow C_2F_4$ → CF₂ → CF, C, F のように逐次に分解が進むことにな る.プロセス処理面積の拡大を考える場合,これに伴い, プラズマ体積が増大する.この場合、ガス分子のプラズ マ内における滞在時間が長くなり、ガス分子が被る電子 衝突の回数が多くなるため、これを打ち消す効果をどこ かに与えなければならない.また一方で,実用的な観点 として, 高速にエッチングを行うため, 300 mm という 大きなウエハからの多量の反応生成物をウエハ中央部分 からも効率良く排気してフレッシュなプロセスガスと入 れ替えてやらねばならないため、プラズマの高さ方向の ディメンション、すなわち、厚みを減らすわけにはいか ず、むしろ厚み方向にも十分な間隔をとらなければなら ない状況にある.また、ウエハ処理速度を稼ぐことので きるように、エッチング処理に必要なイオン密度、すな わち、電子密度は十分な量を確保したい、電子密度を減 らさずに、すなわち、イオンの密度を保ったままで、ガ ス解離の進行を抑制するためには、排気能力の向上によ る滞在時間の低減が一策として考えられるが、排気装置 の大型化を招くため得策ではない。また、ガス圧力を低 くし滞在時間を短くすることにより、電子との衝突回数 を減少させることは可能だが、これに伴って電子温度が 上昇してしまう. したがって, 電子密度を低下させずに,

プラズマ・核融合学会誌 第73巻第12号 1997年12月



Fig. 8 Axial distributions of σ s obtained from emission intensities of Ar (750.4 nm) and Ar⁺ (465.8 nm).



Fig. 9 Electron density and *ow* plotted against pressure.

電子温度を低下させガス解離の進行を抑制できれば、排 気系を大規模化することなく大口径プロセスへ展開で き、高アスペクト加工に有利なより低圧力条件でもエッ チングに適した活性種組成を実現することが可能になる と期待できる.ただし、電子エネルギーがプラズマ全域 にわたって低い状態、たとえば、イオン化エネルギーを 与えるのに十分なエネルギーを持つ電子が少なすぎる場 合には、高密度なプラズマを発生させることはできず, このときエッチング反応に必要なラジカルを十分に発生 させることはできない. これらより推察すると, プラズ マの厚み方向の中で、上流部に比較的薄いプラズマ生成 領域を設け、下流部には電子エネルギーの冷めたプラズ マ拡散領域があるようなプラズマ構造(Fig. 1)が適し ていることになる[10].また、エッチングされるウエハ 側からみれば、エッチング反応により生じた反応生成物 が、ウエハ近くで再解離されることが抑制されることか ら、反応効率や微細加工に与える影響という点でも好ま しいと考える.

1.4.2 C₄F₈/Ar プラズマ特性

以上に述べたように、プラズマの電子エネルギーや厚 み方向の構造はエッチングガスの解離組成と関係する. これと同時に、実際のエッチングプラズマ中の活性種組 成は、表面との相互作用によっても大きく影響される. これら2つの点、気相反応の効果と表面反応の効果を示 す例として、次に、実際のエッチングガスを導入したと きのプラズマ中の活性種の量の変化を調べた結果を示す. 活性種の量の変化を推察するために、Fig. 10 に示すよ うな発光スペクトルの強度を用いた.発光スペクトル強 度が実際の活性種の密度をどれだけ反映しているかにつ いては注意が必要だが、我々の研究室では、別途赤外波 長の半導体レーザを用いた吸収分光を用いて、CF, CF₂については基底状態の密度を求め、同じガス系を用 いた装置で発光強度とほぼ線形関係にあることを確認し た[2]. ここでは,各活性種の密度がほぼ発光強度に反 映されているものとして解釈を行う.また,Ar⁺とAr の相対強度変化が電子エネルギー分布の変化を反映して いるものと考える.

Fig. 11 には、プラズマ励起周波数が 915 MHz の場合 と 500 MHz の場合の各活性種の発光スペクトルの強度 をプロットした. Ar の発光強度が両周波数においてよ く似た特性を示しているのに対し、Ar⁺の発光強度で は、915 MHz の方が大きくなっている. このように、 C₄F₈ を混合した系においても、前に述べた Ar プラズ マと同様にプラズマ励起周波数と電子エネルギーとの関



Fig. 10 Emission spectrum of C₄F₈/Ar plasma.

係が見られている. すなわち,915 MHz の方が電子エ ネルギーが高い.また,これに連動して,2原子分子状 のラジカル CF や C₂ また,単原子状のラジカル C や F の信号が強くなっている.また,CF の信号強度と CF よりも低い生成エネルギーしきい値の CF₂ [11]の信号 強度との比,CF/CF₂ で見た場合も915 MHz の方が大 きくなっており,プラズマ中の活性種組成が電子エネル ギーにより影響を受けている様子を示している.

一方,電子エネルギーと同じオーダのレベルで表面か らの放出物がプラズマ組成に影響を与えている一例を次 に示す. Fig. 12 には、レジストを全面に塗布したウエ ハに対し、エッチング条件と同様のバイアス電圧を印加 し、プラズマ中のイオンをウエハに積極的に入射させた 場合のスペクトルの変化を示す. バイアスには高周波が 用いられ, peak-to-peak の電圧値で 1,000 V が印加され ている.このとき、ウエハに入射するイオン電流として は,数mA/cm²程度となっている.ウエハにバイアス を印加すると Ar⁺/Ar 比が上昇しており、電子エネル ギーが高い側にシフトしている様子が伺える.また, Ar 強度は若干減少しており、表面でのプラズマロスと 対応して、プラズマ内の電子のエネルギー分布がシフト したことが推察される.しかし、ここで、電子エネルギー が高い側にシフトしたにもかかわらず, C₂やCといっ た活性種の発光は増加しておらず、また、特に下につ いては顕著に減少している様子がわかる.これは、プラ ズマ中の電子のエネルギー状態の変化との対応よりもむ しろ、炭素をふくむ有機物質からなるレジスト表面で F が反応消滅していることが支配要因となっていることを 示唆している.このとき, CF, CF2発光の強度の増加は, レジストからのC_xH_yF_zのような反応生成物の解離生成 物からの発光と考えられる、本稿では、あまり詳しく説 明できなかったが、C₄F₈ガス系を使って活性種密度を 長期安定化するため、チャンバ壁面は温度制御されてお り、また、アンテナ表面には、別途の高周波電源を用い て数100Vのバイアス電圧が印加され、一定の状態が 保たれている[1,12,13]. ここに示すラジカル発光強度 は、このように条件を一定化させた場合の定常状態の データを示している. さらに詳細には, 壁面の材質によ り特性が変化することなどもわかっている. 以上のよう に、実際にシリコン酸化膜エッチングの行われる条件近 傍でのプラズマ特性は、プラズマの電子状態と同時にプ ラズマを取り囲む境界条件であるウエハ表面やアンテナ 表面を含む壁面の状態に大きく影響される.

プロセス用の新しい高密度プラズマという内容で、こ



プラズマ・核融合学会誌 第73巻第12号 1997年12月

Fig. 11 Variations of emission intensities of various species at 915 MHz and 500 MHz C_4F_8/Ar plasma.



Fig. 12 Variations of emission intensities of various species at 500 MHz C₄F₈/Ar plasma for non-bias and V_{pp}=1000 V (resist).

講 座

こでは、主に、「何故、このような形態のプラズマソー スをプロセスに適用しようとしているのか?」という点 について特徴的な事柄の一端を紹介した.実際に、要求 されるプロセス性能に合わせてプラズマ側を制御するた めには、プラズマ中の化学組成とエッチングの状態や堆 積物の状況などを突き合わせてチューニングを行ってい く.また、このときフィードバックされる情報を基にし て、必要なプラズマの形態が決定される.以上、プラズ マ物理で考えるプラズマの装置構成の思想とはかなり違 った考えでシリコン酸化膜エッチング用プラズマの形態 が決められる様子を、簡単に解説した.現在、世の中に は、さまざまな周波数やプラズマ励起方式、装置ジオメ トリのリアクタがそれぞれの着眼点をもって考案されて おり、次号以降も順次紹介されていくであろう.

1.5 おわりに

UHF 帯電磁波を利用した ECR プラズマ特性とエッ チングプラズマ中の活性種組成の関係について,プロー ブや発光分光によりプラズマを調べた結果を検討し,エ ッチングにおける要求と照らし合わせながらプラズマの 形態について説明した.具体例から,(1)周波数によりプ ラズマ中の電子エネルギーやプラズマ構造が異なり,こ れらはエッチングガスの解離特性に影響を及ぼすこと, (2)反応性,堆積性のガスを用いるエッチングプラズマで は,表面との相互作用がプラズマ中の活性種組成に大き く影響することを示し,エッチングプラズマソースの考 え方の一例を紹介した.

本研究は、NEDOより委託され実施したものである. 本研究を進めるにあたり、御協力、御討論下さった日立 製作所中央研究所、横川賢悦氏、田地新一氏、鈴木敬三 氏、ASET の皆様に深く感謝致します.

参考文献

[1] K. Yokogawa, N. Negishi, S. Yamamoto, K. Suzuki and S. Tachi, *Extended Abs. (The 58th Autumn* Meeting, 1997) of The Japan Society of Appl. Phys., 2aZM-10.

- [2] T. Tatsumi, H. Hayashi, S. Morishita, M. Okigawa, S. Noda, N. Itabashi and M. Inoue, *Extended Abs.* (*The 58th Autumn Meeting, 1997*) of *The Japan* Society of Appl. Phys., 2pZM-4.
- [3] K. Yokogawa, N. Itabashi, K. Suzuki and S. Tachi, Proc. of the 43rd National Symp. of American Vacuum Society (Philadelphia 1996) PS2-WeA5.
- [4] K. Yokogawa, N. Itabashi, K. Suzuki and S. Tachi, Proc. of the 3rd Int. Conf. on Reactive Plasmas & 14th Symp. on Plasma Processing (Nara, 1994) P3-61.
- [5] K. Yokogawa, N. Itabashi, N. Negishi, K. Suzuki and S. Tachi, Proc. of the 191st Meeting of Electrochemical Society, G2., Montreal, 1997.
- [6] S. Tachi, K. Yokogawa and T. Kaji, Abs. of The Satellite Symp. of 1997 Int. Micro Processes and Nanotechnology Conf., No.9., Nagoya, 1997.
- [7] K. Nojiri and E. Iguchi, J. Vac. Sci. Technol. B 13 1451 (1995).
- [8] S. Noda, M. Okigawa, N. Itabashi, Y. Hikosaka, K. Kinoshita, T. Tatsumi and M. Inoue, *Extended Abs.* (*The 58th Autumn Meeting, 1997*) of *The Japan Society of Appl. Phys.*, 4pB-1.
- [9] M.A. Lieberman and A.J. Lichtenberg, Principles of Plasma Discharges and Materials Processing (John Wiley & Sons, Inc., New York, 1994) Chapter 13.
- [10] 菅井秀郎:学術振興会プラズマ材料科学第153委員会,第35回研究会,講演(1),東京,1997.
- [11] H. Toyoda, M. Iio and H. Sugai, Jpn. J. Appl. Phys. to be published.
- [12] M. Okigawa, N. Itabashi, S. Noda, Y. Hikosaka, K. Kinoshita and M. Inoue, *Extended Abs. (The 58th Autumn Meeting, 1997) of The Japan Society of Appl. Phys.*, 4pB-4.
- [13] N. Itabashi, M. Okigawa, S. Noda, Y. Hikosaka, T. Tatsumi, M. Inoue, K. Yokogawa, N. Negishi, K. Suzuki and S. Tachi, *Extended Abs. (The 58th Autumn Meeting, 1997) of The Japan Society of Appl. Phys.*, 4pB-5.

代表著者 Email itabashi@yrc.aset.or.jp

1373