

法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2024-09-03

ヘリコン波型プラズマエッチングによりSi表面に導入されるダメージの評価

川口, 一昭 / Kawaguchi, Kazu. / 林, 淳一 / 原, 徹 / Hara, Tohru. / Hayashi, Jun.

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学工学部研究集報 / 法政大学工学部研究集報

(巻 / Volume)

29

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

9

(発行年 / Year)

1993-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003870>

ヘリコン波型プラズマエッチングにより Si表面に導入されるダメージの評価

川口一昭*、林 淳一*、原 徹*

Damage formed on silicon surface by helicon wave plasma etching

Kazu.Kawaguchi, Jun.Hayashi and Tohru.Hara

Low damage etching is strongly requested in the fabrication of sub-micron VLSI. The newly developed helicon wave plasma etching is a promising technology for this requirement. Damage formed by this etching is studied. Damage density decreases with the increase of helicon wave power, because of the decrease of self-bias voltage. This variation is much different from other plasma etchings ever presented. Damage density, however, increases with the increase of bias power.

【序文】

MOSLSIの微細化に伴い、フォトレジスト、配線及びコンタクトホール部のエッチングプロセスでは高い異方性、高い選択性を有した低ダメージエッチングの要求がある。現在コンタクトホール酸化膜のエッチングには、マグネトロン型反応性イオンエッチング(MERIE)が広く用いられている。このエッチングは高密度プラズマを生成でき、高い酸化膜エッチングレートおよび、高いSi選択比を得ることができる。しかし、LSIのパターン寸法の縮小につれアスペクト比が高いパターンほどエッチング速度が遅くなるマイクロローディング効果が顕著となり問題とされている。¹⁾このためコンタクト径 $0.35\mu\text{m}$ 以下のエッチングに用いるには限界とされている。またこのエッチングは、イオンエネルギーが高いため、Si表面に大量にダメージが導入され、コンタクトホールではコンタクト抵抗の増加、リーク電流の増加、歩留まり低下の原因となる。²⁾この問題は、コンタクト面積の縮小に伴い更に深刻な問題となる。我々は現在用いられているMERIEでは $0.35\mu\text{m}$ 径の高アスペクト比微細コンタクトホールのエッチングを行うのは無理との結論に達している。³⁾

MERIEと比較し低い圧力で微細パターンのエッチングが可能なECRプラズマエッチングは、低いイオンエネルギーでエッチングを行えるためダメージ量の低減が期待されている。しかし、ECRプラズマエッチングをシリコン酸化膜のエッチングに用い高いエッチング速度、下地Siとの選択比を大きくとるには高いプラズマ密度が必要となる。このプラズマ生成には高いマイクロ波パワー、大きな磁場でのエッチングが必要になり、この結果ECRプラズマにおいてもMERIEと同程度の大量のダメージ量が導入されることが報告されている。^{4, 5)} このため低ダメージエッチングの開発が必要である。

最近 10^{-2} から 10^{-4} Torrの低圧力で 10^{13} /cm²の高密度プラズマを均一に生成できる、ヘリコン波プラズマエッチング法が注目されている。⁶⁾ このエッチング法は、磁場に平行に低周波で伝搬するヘリコン波がランダウ減衰により電子にエネルギーを供給することによりプラズマを生成するエッチング法である。このエッチング法では1桁小さな磁場で高密度なプラズマを生成できるため、ダメージの低減が期待されているが、ダメージに関する報告例はない。本報告ではヘリコン波プラズマエッチングによりSi表面に導入される物理的ダメージ量および導入されるダメージの深さ分布がヘリコン波パワー、バイアスパワー、圧力、バイアス周波数によりどのように変化するかを調べたので報告する。

【測定条件】

i) エッチング装置

本実験に使用したヘリコン波型プラズマ装置HWS-210(日電アネルバ社)には、PMT(Plasma & Materials Technologies, U.S.A.)社が開発したプラズマ源を用いている。Fig. 1に本実験で使用したヘリコン波プラズマエッチング装置の概要を示す。この装置はプラズマを生成するプラズマプロセス室とウェーハを挿入しエッチングを行う基板交換室の2室から構成されている。プラズマプロセス室はヘリコン波プラズマを発生させるプラズマ室、発生したプラズマを均一に拡散させる拡散室、バイアスを印加できる基板ホルダからなり、プラズマ室では円筒状のチャンバに磁場を与え、更に石英管などの絶縁管の周りに直径方向に巻かれたループアンテナに高周波を印加し、高周波とこの高周波に直交する磁場により発生するヘリコン波によりプラズマを励起する。⁷⁾

この装置の特徴は、プラズマ室の直径が約9cmと小型で、拡散室を併用することで直径25cmの領域にわたりイオン電流密度分布±3%の均一性が得られる。また、プラズマ源と基板バイアス印加の制御を独立に行えるために、基板にバイアスをかけることにより高異方性エッチングが可能となる。また、プラズマポテンシャルが15-30eVと低いこと、ヘリコン波プラズマはその中身がイオンより励起分子が多いこと、基板に印加される磁場が弱い(数十gauss)ため良好なプラズマの均一性が得られる。

しかし、プラズマ密度が高いためガス分子の解離が進み、従来のプラズマ化学が使えないこと、

アンテナに高電圧が印加されることによる、石英管の加熱や内壁のスパッタが予想されている。⁸⁾

ii) エッチング条件

ヘリコン波プラズマ装置HWS-210を用い、 O_2 ガスを50 sccmの流量で供給、Siの表面を5分間、ヘリコン波酸素プラズマによるエッチングを行った。ここで、p型(100) Si基板を用い、ヘリコン波パワーを500Wから2000W、バイアスパワーを50Wから100Wの範囲で変化しエッチングを行った。これらのエッチングにより導入された物理的ダメージ量を1.5MeV、 He^+ ラザフォード後方散乱(RBS)アラインドスペクトルにより、ダメージ深さ方向プロファイルを光熱効果変位(PAD)測定によりそれぞれ測定した。

【実験結果】

1) ヘリコン波パワーの効果

ヘリコン波プラズマではプラズマ室のループアンテナに印加されるヘリコン波パワーの変化によりプラズマ密度(イオン電流密度)の制御が可能である。この実験ではバイアスパワー80W、圧力5 mTorr、RFバイアス周波数1.6 MHz、 O_2 ガス50sccmの条件でヘリコン波パワーを500Wから2000Wに変化し、エッチング(シリコンウェハ表面の露出)を行った。この O_2 プラズマ反応におけるイオン電流密度 I_s のヘリコン波パワーによる変化を調べFig.2の結果を得た。ここでイオン電流密度はプラズマ源の条件だけで変化するため、バイアスパワーを印加せずに測定を行った。イオン電流密度 I_s はこの図のようにヘリコン波パワーの増加により増加し、500Wで 0.91mA/cm^2 から2000Wで 4.3mA/cm^2 まで増加した。このヘリコン波パワーおよびイオン電流密度の増加による自己バイアス電圧 V_{dc} の変化を測定しFig.3に結果を示す。ヘリコン波パワーの500Wから2000Wへの増加により V_{dc} は285から222Vに減少し、イオンエネルギーは減少することが分かった。この原因は、プラズマパワーのインピーダンスを考えて見ると一定パワーで $W=IV$ の関係からイオン電流 I_s の増加により、 V_{dc} が減少するためである。これらの結果から、ヘリコン波プラズマではパワーの増加によりプラズマ密度が増加するにもかかわらず、イオンエネルギーは減少することが分かった。

この V_{dc} の減少が物理的ダメージ量に及ぼす影響を定量的に求めるため、1.5MeV、 He^+ RBSアラインドスペクトルを測定しFig.4を得た。このスペクトルはヘリコン波パワー500W、および2000WにおけるRBSアラインドスペクトルである。ここでRBS測定は、検出角度150度でアラインド測定を行った。このスペクトルで290チャンネル付近に現われるSiピークは、結晶表面にダメージ層が形成されたことを示している。このSiピーク強度は、ヘリコン波パワー500Wでは264イールドであったが、パワーを2000Wに増加すると201イールドに減少した。この結果から、ヘリコン波パワーの増加により物理的ダメージ量が低減することがわかった。この結果はECRプラズマエッチングでマイクロ波パワー800Wで得られる350イールドに比べかなり低い。このRBSアラインドSiスペクトルピークからSi結晶格子の変位、Si変位原子面密度 D_{da} すなわち物理的ダメージ量を求

めた。⁹⁾ Fig.5にこの測定から求めたSi変位原子面密度Ddaのヘリコン波パワーによる変化を示す。Si変位原子面密度Ddaはヘリコン波パワーの500Wから2000Wへの増加により $1.9 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ から $9.3 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ に大きく減少した。また、PAD信号¹⁰⁾もヘリコン波パワーを500Wから2000Wに増加することにより74.9pmから59.6pmに減少した。これらの結果から、従来のプラズマエッチングの場合と異なりヘリコン波パワーの増加により物理的ダメージ量を低減できる。

次に、このエッチングにより導入された物理的ダメージの深さ方向プロファイル PAD法により調べた。⁶⁾ Dda値とPAD信号値は深さ方向で対応し、Si変位原子面密度が1Å当り $7.6 \times 10^{14}/\text{cm}^2$ 変化しているのに対しPAD信号値は0.03pm変化している。この結果からPADは深さ方向に対して、ダメージを定量的に測定できる。このPAD測定から物理的ダメージ密度深さ方向プロファイル微分PAD値(Δ PAD)を求めた。この測定ではエッチングされた表面を陽極酸化、フッ酸除去を行いPAD測定を繰り返し、深さ方向のPAD信号値の差分を1Å当りに換算した値を Δ PADとして、物理的ダメージ密度深さ方向プロファイルとして求めた。Fig.6にこの Δ PADから求めたヘリコン波パワー500W、2000Wでエッチングを行うことによりSi表面に導入された物理的ダメージ密度の深さ方向プロファイルを示す。ヘリコン波パワー500Wでは、 Δ PADはエッチング表面から50Åのごく浅い領域で0.96pm/Åとダメージが密に導入されたが、2000Wに増加することにより0.61pm/Åとダメージ密度が減少することがわかった。また、この物理的ダメージは50Å以上の深さには殆ど導入されず、磁場80 Gauss、RFパワー700Wの代表的なエッチング条件でマグネトロン型反応性イオンエッチング(MERIE)を行うことにより導入されたダメージが500Å以上の深さに分布しているのと比べ非常に浅いことがわかった。

以上の結果から、ヘリコン波パワーの増加により物理的ダメージ量は減少し、マイクロ波パワーの増加により物理的ダメージ量が増加するECRプラズマエッチングとは相反した傾向を示す。導入されたダメージは表面から50Åのごく浅い領域のみに分布し、深い領域には殆ど導入されなかった。

2) バイアスパワーの効果

ウェーハ基板に供給されるバイアスパワーの増加によりイオンエネルギーが増加する。ヘリコン波パワー1000W、圧力5 mTorr、RFバイアス周波数1.6 MHz、O₂ガス50 sccmでバイアスパワーを50Wから100Wに変化しバイアスパワーによる自己バイアス電圧Vdcの変化を調べた。バイアスパワーを50Wから100Wに増加することによりVdcは146Vから210Vに増加し、イオンエネルギーが増加することが分かった。これは、バイアスパワーの増加によりイオン電流が変化しないため、基板への負の印加電圧が増加し、引き寄せられる陽イオンが増加、イオンシース電圧が増加するためである。このVdcの増加が物理的ダメージ量に及ぼす影響を定量的に求めるため、1.5MeV、He⁺RBSアラインドスペクトルを測定した。290チャンネル付近で表れるSiピークは、バイアスパワー50Wでは176イールドであるが、100Wに増加することにより219イールドに増加しバイアスパ

ワの増加により物理的ダメージ量は増加することがわかった。更に、この Si ピークから Si 結晶格子の変位原子面密度 Dda を求めた。

Fig.7は Si 変位原子面密度 Dda のバイアスパワによる変化である。バイアスパワを50Wから100Wに増加することにより、Si 変位原子面密度 Dda は $1.2 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ から $1.7 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ に増加した。また、PAD 信号もバイアスパワを50Wから100Wに増加することにより56.3pmから66.1pmに増加しバイアスパワの増加により物理的ダメージ量が増加することがわかった。

この、バイアスパワの増加による物理的ダメージの深さ方向プロファイルの変化を PAD 測定により調べた。バイアスパワ50Wではエッチング表面から50Åの深さで0.62pm/Åであったがバイアスパワを100Wに増加することにより0.82pm/Åに増加し、浅い領域でダメージ密度が増加することがわかった。しかしバイアスパワ50W、100Wいずれの場合も50Å以上の深さにはダメージは殆ど導入されなかった。

以上のことから、バイアスパワの増加により物理的ダメージ量は増加した。また導入プロファイルは、バイアスパワに依存せず50Å以上の深さではダメージは殆ど導入されなかった。

3) 圧力の効果

ヘリコン波パワ1000W、バイアスパワ80Wで圧力を2 mTorrから10mTorrに変化し、物理的ダメージ量の変化を調べた。RBS チャネリングスペクトルで、290チャンネル付近で表れる Si ピークイールドは、圧力の2 mTorrから10mTorrの変化により変化せず220イールドに保たれ、Si 表面に導入される物理的ダメージ量は殆ど変化しないことがわかった。

この Si ピークから Si 変位原子面密度 Dda を求めた。

Ddaは圧力を2 m Torrから10mTorrに増加することにより $1.4 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ から $1.6 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ となり、物理的ダメージ量はほとんど変化しないことがわかった。

4) バイアス周波数の効果

ヘリコン波パワ1000W、圧力5 mTorrでバイアス周波数を1.6から13.56MHzで変化し、Dda の変化を調べた。ここで、レジストのエッチングレートが一定となるバイアスパワを設定した。この RBS アラインスペクトルで290チャンネル付近で表れる Si ピークは、バイアス周波数を変化しても殆ど変化せず、またこのSiピークから求めたSi変位原子面密度Ddaも $1.5 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ でバイアス周波数により変化せずほとんど一定であった。

【結論】

以上の実験結果からヘリコン波プラズマエッチングによりSi結晶表面に導入されるダメージについて以下の結論が得られた。

1) 自己バイアス電圧Vdcはヘリコン波パワの増加により減少し、バイアスパワの増加によって増加することがわかった。

2) 物理的ダメージ量

ヘリコン波パワを増加することにより、Si表面に導入される物理的ダメージ量が減少した。この原因はヘリコン波パワの増加によりイオンエネルギーが減少したためである。

このダメージ量はバイアスパワの増加により増加した。この原因はバイアスパワを増加することによりイオンエネルギーが増加したためである。

3) ダメージプロファイル

このエッチングにより導入されたダメージは50Å以内のごく浅い領域に分布し、50Å以上の深さには殆ど導入されない。

【参考文献】

- 1) Y.H.Lee, and Z.H.Zhou, J.Electrochem.Soc., 138(8), August (1991) .
- 2) T.Hara, H.Suzuki, A.Terada, and N.Toyoda, J.Appl.Phys., 62, 4109 (1987) .
- 3) M.Sato, D.Kimura, N.Takenaka, S.Onishi, K.Sakiyama, and T.Hara, International Solid State Devices and Materials Conf., August (1991).
- 4) T.Hara, J.Hiyoshi, H.Hamanaka, J.Appy.Phys., 67(6), 2836 (1990) .
- 5) G.Washizu, T.Hara, J.Hiyoshi, M.Sasaki, Y.Suzuki, and K.U.Kai, Jpn.J.Appl.Phys., 130(5), 1045 (1991) .
- 6) T.Hara, K.Kawaguchi, J.Hayashi, H.Nogami, and T.Tsukada, Jpn.J.Appl.Phys., 130(3) (1993) .
- 7) B.Chapman, N.Benjamin, C.F.A.Van Os, R.W.Boswell, and A.J.Perry, Dry Process Symposium, 39 (1991) .
- 8) A.J.Perry, D.Vender, and W.Boswell, J.Vac.Sci.Technol., B9(2), Mar/Apr. (1991) .
- 9) W.K.Chu, J.W.Mayer, and M.A.Nicolet, Mackscattering Spectrometry, Academic Press, New York (1978) .
- 10) T.Hara, and T.Muraki, Semiconductor World, 20, Nov. (1992) .

Helicon wave plasma etching reactor

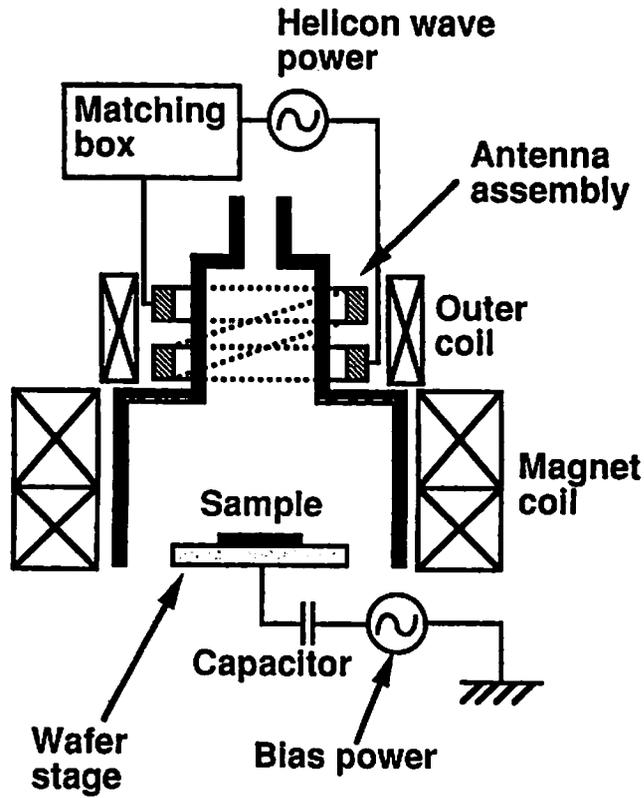


Fig.1 ヘリコン波プラズマエッチング装置

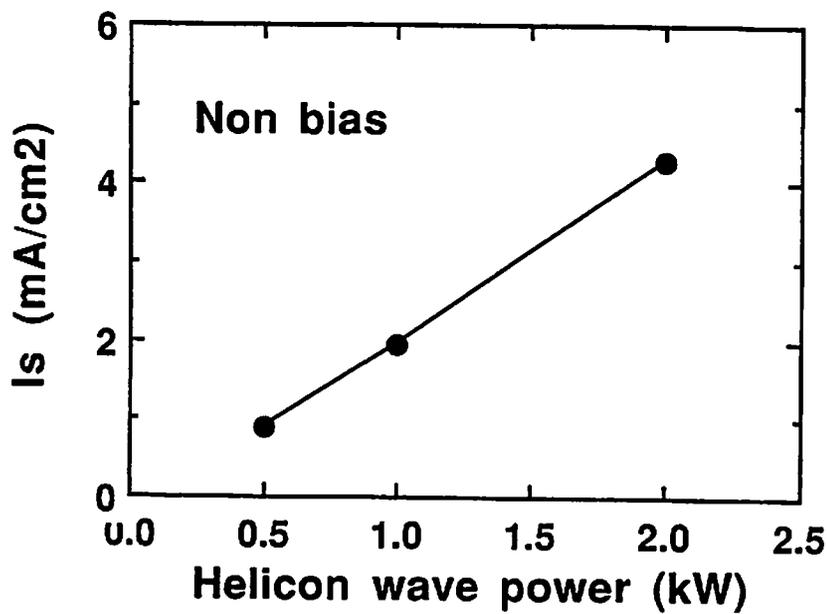


Fig.2 イオン電流密度 I_s のヘリコン波パワーによる変化
O₂ 200sccm, 3.3mTorr, bias power 0W

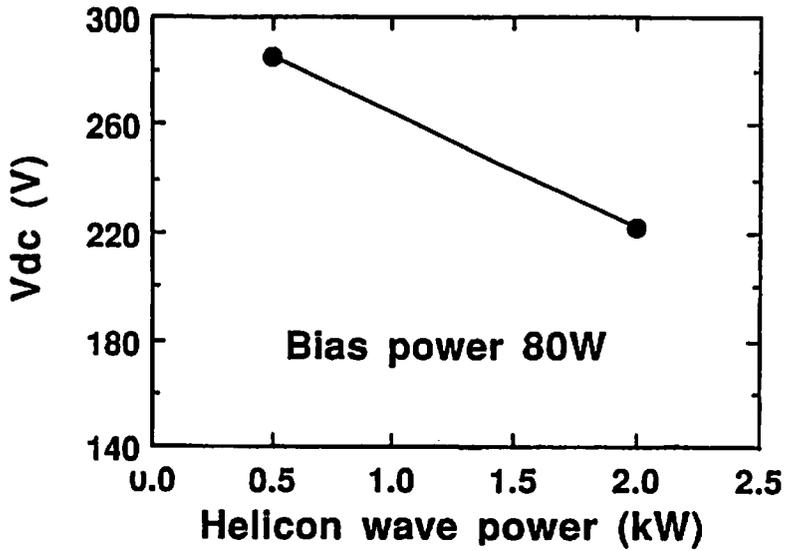


Fig. 3 自己バイアス電圧Vdcのヘリコン波パワーによる変化
02 50sccm, 5mTorr, bias power 80W

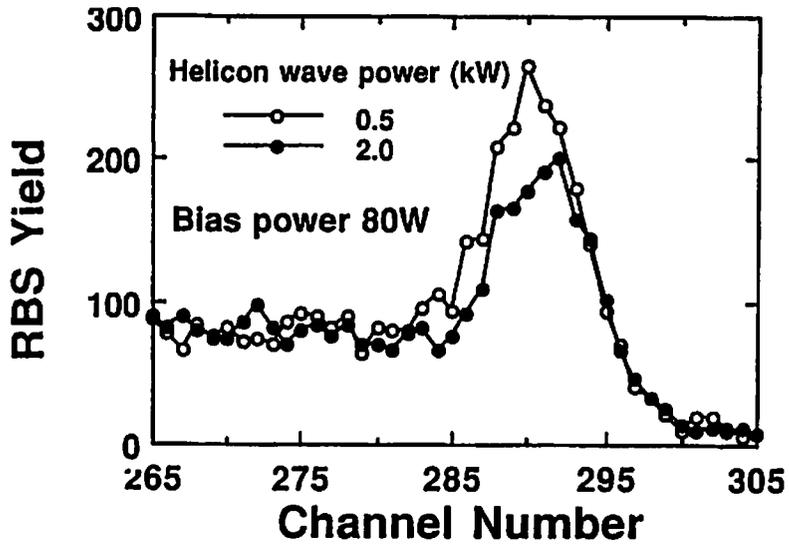


Fig. 4 ヘリコン波パワー500W, 2000WにおけるRBSチャネリングスペクトル
02 50sccm, 5mTorr, bias power 80W

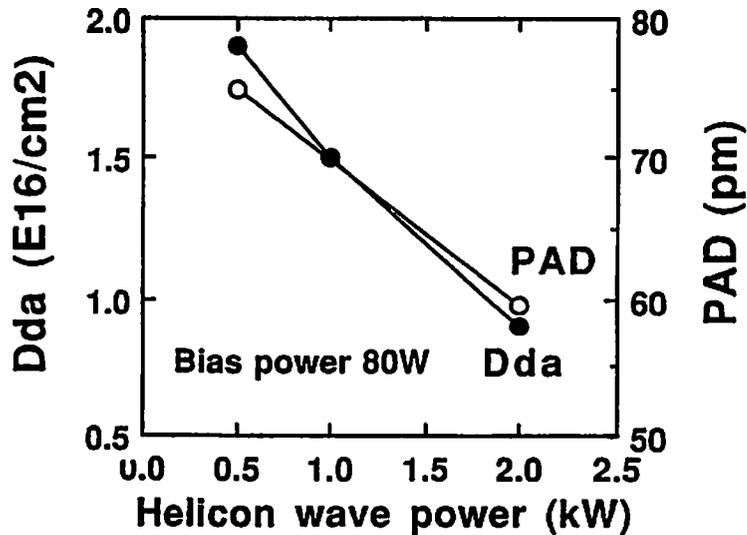


Fig. 5 Si変位原子面密度Ddaと光熱効果変位 (PAD) のヘリコン波パワーによる変化
02 50sccm, 5mTorr, bias power 80W

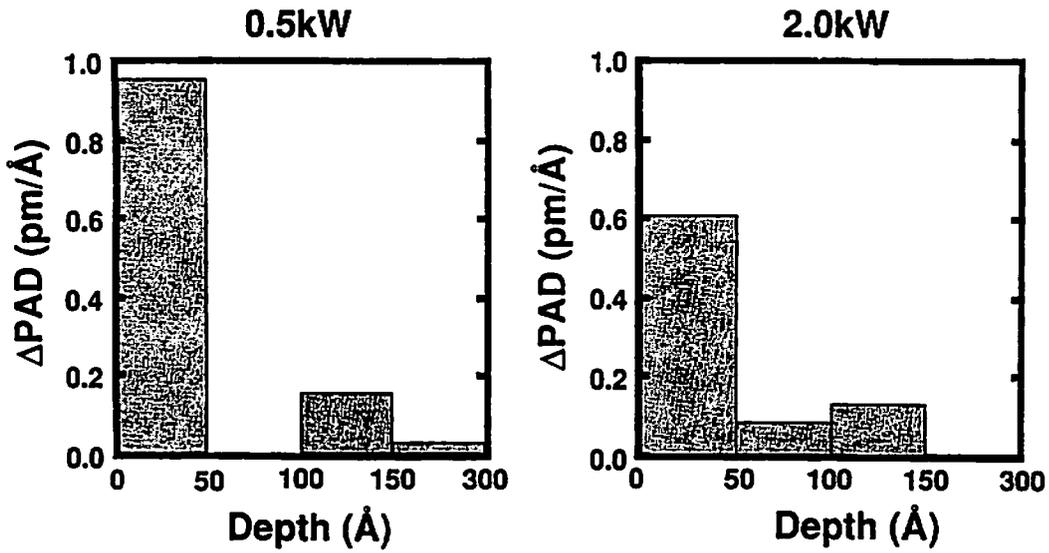


Fig.6 デルタPADから求めた、ヘリコン波パワ500W、2000Wにおける物理的ダメージ密度深さ方向プロフィール
02 50sccm、5mTorr、bias power 80W

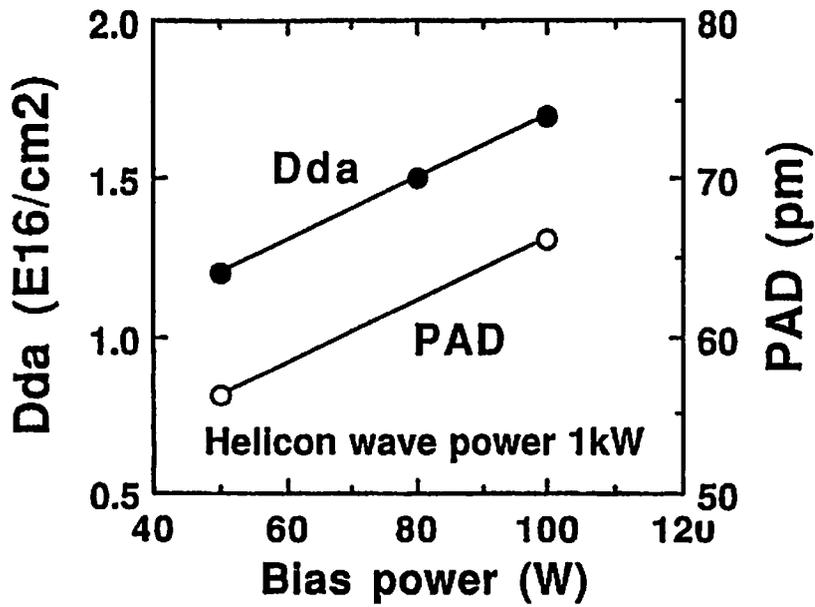


Fig.7 Si変位原子面密度Ddaのバイアスパワによる変化
02 50sccm、5mTorr、helicon wave power 1000W