ミニマルμプラズマエッチングプロセスにおける動作圧力についての考察

A Consideration on Operating Pressure in Minimal μ-Plasma Etching Process

○田中 宏幸[1], 新堀 俊一郎[2,3], 岩瀬 千克[2,3], クンプアン ソマワン[1,2], 原 史朗[1,2]
([1]産総研, [2]ミニマルファブ推進機構, [3]三友製作所)

°H. Tanaka[1], S. Shinbori[2,3], C. Iwase[2,3], S. Khumpuang[1,2], and S. Hara[1,2]
([1]AIST, [2]MINIMAL, and [3]SUNYOU) E-mail: tanaka.hiroyuki@aist.go.jp

【 背景・目的 】

通常、半導体エッチングプロセスに用いるプラズマは、電子温度に対してガス温度が十分低い熱的非平衡型低温グロー放電でウェハ加工を行っている。それは半導体製造工程ではリソグラフィーを行うため、ウェハ温度はおよそ 130 ℃を越えないようにしなければならないという要請があるからである。この種のプラズマは、大容積に対して比較的均一で安定したプラズマを得られるが、閉じた空間内に磁力や高周波プラズマ発生源、対向電極設置など全体として大掛かりで複雑な仕組みが必要である。

これに対し、ミニマルファブ[1]では、小さな反応場が得られるマイクロプラズマを活用しその半導体向け応用開発を行ってきた。マイクロプラズマは、通常、三次元空間に数ミリからサブミリ程度の微少な大きさを有するもので、主に大気圧（～10^5 Pa）に近い圧力で使用されている。Fig. 1 は、プラズマの圧力 p とプラズマの空間スケール d を取って、マイクロプラズマと他のプラズマと比較したものである。DC 放電におけるパッシェンの法則[2]によると、最小の放電開始電圧は、プラズマ空間スケール d と圧力 p の関係だけの関数となることが知られている。この法則によれば最小放電電圧は、一般に pd 積が 1 Pa･m 程度で得られる。マイクロプラズマのノズル径が mm 程度であると、この図から 10^3～10^4 Pa 程度の真空が適正利用領域となる。しかし、大気圧に近くなるとガスが高密度となるため、マイクロプラズマは電子とイオンの温度がほぼ等しくなって熱プラズマに移行し易い。半導体へ応用するには、高分子ポリマーのフォトレジストを焦がしてしまうため、低温プラズマ化が必須となる。

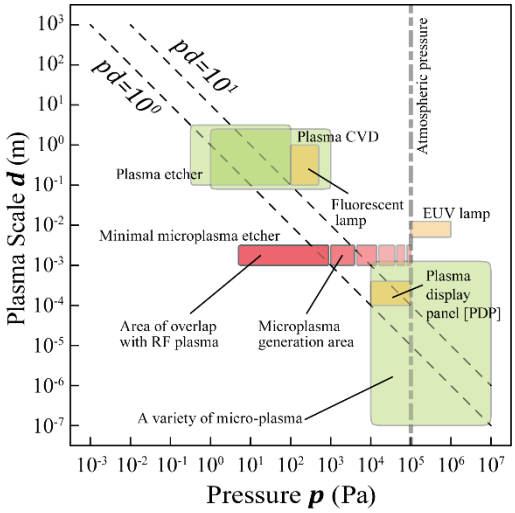

Fig.1 Positioning of the various plasma application technology in relation the plasma scale d and the pressure p.

【 開発装置・実験結果と考察 】

装置の概略図を Fig. 2 に示す。マイクロプラズマは、1/4 インチ石英管（内径 4mm）へ 10kHz 程度の交流高電圧を印加した。フランジ部分には、鍔状の GND 電極を設置した。ウェハステージ側からは、異方性を持たせるため 13.56MHz の高周波（RF）を印加して発生させた。エッチングガスは、CF_4/Ar 混合ガスを用いた。

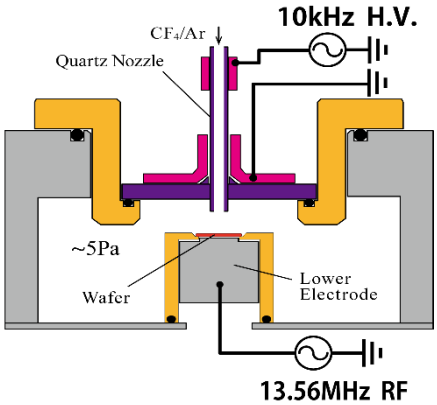

Fig.2 Schematic diagram of μ plasma etcher.

大気圧の様な高密度ガスのときは、熱プラズマへと移行し易いのに対して、圧力を低圧化させると低温という点で良い傾向が得られた。Fig. 3 は、圧力が 5 Pa のときのエッチング SEM 写真である。レジストマスクを焦がすことなく Si 基板のエッチングができた。ここで喚起すべきことは、Fig. 1 に示したパッシェンの法則の pd 積 1 Pa･m 程度は、プラズマの着火条件であって、プラズマを活用する空間の大きさを意味していないことである。すなわち、マイクロプラズマは、ノズル内着火はノズルという狭い空間で発生するが、利用空間はノズル外空間ということになる。このため、着火およびプラズマ維持条件とそのプラズマ利用に適した条件を個別に考えれば良い。

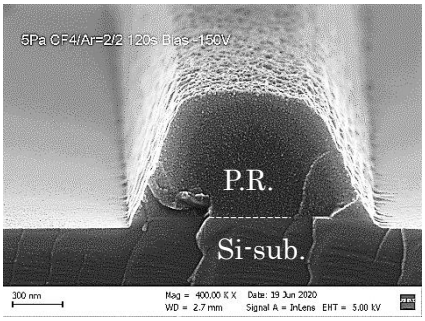

Fig.3 Overhead SEM picture after etching. PR mask Si-sub. Pressure=5Pa, CF_4=Ar=2sccm, RF=35W, Time=120sec

＜参考文献＞
[1] 原 史朗、 クンプアン ソマワン 、 「ミニマルファブの開発とそのデバイスプロセス」、 応用物理、83(5)、 380 (2014)。
[2] V. A. LisovskiÏ et al., Technical Physics, 45(6), p.58(2000).