

电子

等离子体腐蚀译文集

国营北京电子管厂技术情报室

目 录

1	等离子体工艺简介	(1)
2	射频等离子体的光谱分析	(6)
3	通用射频等离子体腐蚀技术	(11)
4	薄膜的快速等离子体腐蚀	(15)
5	反应等离子体微电子工艺设备的应用	(18)
6	等离子体腐蚀周期的确定	(24)
7	化学选择的各向异性等离子体腐蚀	(27)
8	等离子体腐蚀技术的最近动向	(32)
9	等离子体腐蚀技术	(38)
10	等离子体腐蚀在集成电路制造中的应用	(44)
11	等离子体加工的发展及其质谱监控	(54)
12	等离子体腐蚀工艺综述	(60)
13	气体等离子体应用于抗反射铬掩模的微加工	(66)
14	用气体等离子体腐蚀方法的微细加工技术	(70)
15	气体等离子体辐射对双极晶体管电学特性的影响	(73)
16	等离子体腐蚀可编程序只读存储器及其它问题	(75)
17	等离子体腐蚀在失效分析中的应用	(83)
18	等离子体腐蚀氮化硅	(87)
16	等离子体腐蚀多晶硅	(89)
20	一种新的等离子体钻蚀现象	(90)

等离子体工艺简介

Alexis T. Bell

基于等离子体的工艺技术半导体器件的制造中正起着越来越重要的作用。本文综述了在辉光放电中产生的低压等离子体所发生的化学现象。讨论了等离子体的物理特性，并提出了这些物理特性和等离子体化学过程的动力学之间的关系。最后讨论了研究等离子体系统理论模型的前景。

低压非平衡等离子体在半导体器件制造中的应用，是当前正在积极研究的课题。用于去除光致抗蚀剂、淀积氮化硅以及腐蚀氮化硅、多晶硅和铝等工序的生产工艺和设备已经研究成功。在不久的将来，我们预期能够看到非晶态硅的淀积和更多种类金属、半导体和介质材料的腐蚀工艺。有许多因素促使等离子体技术被采用。推动等离子体在薄膜淀积领域中应用的动力，可以认为是：①薄膜能在低温（ $<300^{\circ}\text{C}$ ）下淀积，②这些薄膜的性能和用通常化学汽相淀积技术高温下制备的薄膜的性能差不多。另外，等离子体腐蚀，由于具有成本低、清洁、线条分辨率高及生产线自动化等优点，因而获得广泛应用。

本文目的是为了理解发生在半导体器件生产中所用的等离子体现象提供一些基本知识。开始我们先研究在非平衡等离子体中所发生的化学反应形式和影响反应动力学的因素。等离子体物理性能的研究是朝着这个方向进行的：即为了找到这些物理性能和实验室中能够控制的一些因素之间的关系。最后，对研究等离子体化学系统的理论模型的前景进行一些论述。

非平衡等离子体的一般性能

半导体材料工艺中用的等离子体型式被认为是一种辉光放电。这类等离子体一般保持在 $0.01\sim 1.0$ 托，其特点是只有一小部分离化（ $<10^{-5}$ ），在电子与气体分子间没有建立

热平衡。由于这种非平衡特性，电子的温度可能达到 $10^4\sim 10^5$ °K的数量级，而气体分子的温度则可保持在接近环境温度的水平。正是由于这个非平衡性质，使利用等离子体的工艺具备了上述优点。

虽然能利用直流电场维持非平衡等离子体，但是利用高频电场更有效。用来将电场加在等离子体上的几种方法如图1所示。在音频或更低的频率下，需要在等离子体体积内安装一组电极，但在射频下，用外部电极，或者用外线圈都可以。

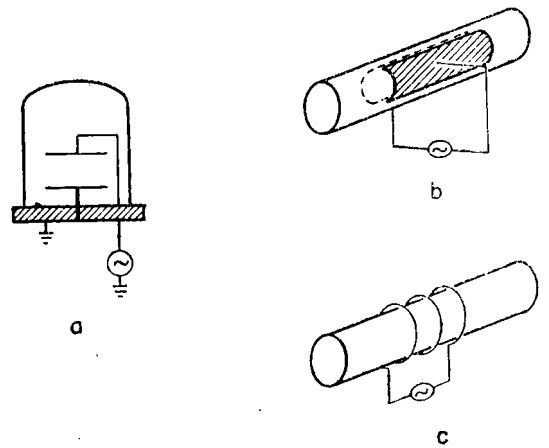


图1 将高频电场耦合至等离子体的方法

等离子体中发生的基本反应

等离子体中发生的化学过程是十分复杂的，它包括了许多基本反应。在所有情况中，化学反应是由于高能自由电子和气体分子碰撞产生各种反应基团所引起的。最后生成物的性质取决于这些先驱物（Precursor）所经历

的反应过程。下面简单讨论一下等离子体中发生的基本反应及影响这些反应速率的因素。

电子与气体分子的碰撞可以描述成弹性碰撞也可描述成非弹性碰撞。在弹性碰撞中，电子能量中的一小部分传给了气体分子。结果是气体分子能量增加了，气体温度也升高了。非弹性碰撞包括大量电子能量损失，并使靶的分子的内部状态激活。这类过程的例子列于表 I。根据碰撞电子的能量大小，被碰撞分子可能是转动型激活、振动型激活和电子型激活。电子型激活是最重要的，因为它能导致离子、游离基以及亚稳态基团的形成。这些产物是接着发生的反应的前驱物。

表 I 电子碰撞反应

激 活	
(转动的, 振动的和电子的)	
$e + A_2 \rightarrow A_2 + e$	
解离的附着	
$e + A_2 \rightarrow A^- + A^+ + e$	
解离	
$e + A_2 \rightarrow 2A + e$	
电离	
$e + A_2 \rightarrow A_2^+ + 2e$	
解离的电离	
$e + A_2 \rightarrow A^+ + A + 2e$	

电子碰撞反应的速率可表示为:

$$r = kn_e N \quad (1)$$

式中 n_e 是电子密度, N 是具体反应物的浓度。式 (1) 中的速率系数 k 可表示为:

$$k = \int_0^{\infty} \left(\frac{\epsilon}{2m} \right)^{1/2} \sigma(\epsilon) f(\epsilon) d\epsilon \quad (2)$$

式中 ϵ 是碰撞电子的能量, m 是电子的质量, $\sigma(\epsilon)$ 是反应截面, $f(\epsilon)$ 是电子能量分布函数。在具体情况下, 可用实验方法测出反应截面, 如选择一定的能量分布 $f(\epsilon)$, 就可以计算出 k 。

$f(\epsilon)$ 的合理表示方法还存在许多问题。如图 2 所示, $f(\epsilon)$ 经常不是麦克斯韦分布, 因此不

能单纯用一种分析式来表达。决定 $f(\epsilon)$ 的正确形式, 从理论上可以通过解波兹曼方程来解^{1,2}。虽然这个方法正在取得进展, 但是它的应用范围还是有限的, 因为这样需要对每个气相组成有一整套激活截面值。目前, 这方面的数据只限于某些单原子和双原子气体。

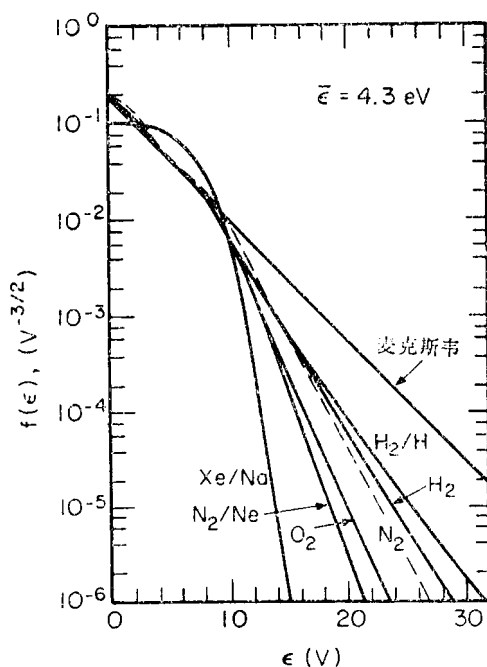


图 2 各种气体及气体混合物的电子能量分布

由于上述原因, 目前对于大多数化学反应系统来说还不可能找到 $f(\epsilon)$ 的准确表达式。为了克服这个困难, 有人提出: 用 $f(\epsilon)$ 的麦克斯韦分布作为一种实验的近似法³。这种近似的定性计算表明, 只要在电子碰撞过程中阈值不落在分布函数的尾部, $f(\epsilon)$ 值按指数下降, 那么所得结果还是可靠的。将 $f(\epsilon)$ 的麦克斯韦分布和实际测量比较, 或者和理论计算比较, 可以看出 $f(\epsilon)$ 的近似表示法和正确表示法的最大偏差发生在能量超过第一电离势以后²。与此相适应, 使用 $f(\epsilon)$ 的麦克斯韦近似方法, 可以计算出激励阈值低于电离势的一些过程的速率系数, 计算精确度比较理想^{4,5}。图 3 就是使用这种方法计算氧的解离的一个例子。

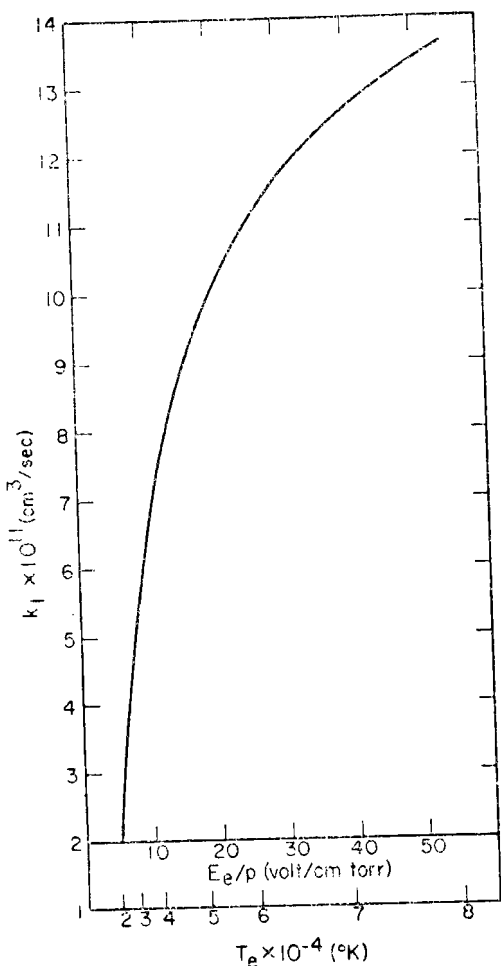


图3 利用电子碰撞解离O₂的速率系数

涉及电子碰撞过程的文献是相当多的。McDaniel⁶和Massey⁷等对这方面曾作过综述。Solovetskii⁸对于解离过程也作过很好的总结。天体物理学联合研究所⁹定期出版的关于低能电子碰撞截面的文献是很有参考价值的。

电子碰撞反应产生的基团还可以进一步互相碰撞，或者和维持等离子体的气体分子发生作用，而产生新的离子和游离基团。这些反应的例子列于表Ⅱ中。

表Ⅱ所列的反应，其反应速率为：

$$r = kN_i N_j \quad (3)$$

式中 k 是速率系数， N_i 是基团 i 的浓度， N_j 是基团 j 的浓度。对于包括两种中性基团的

表Ⅱ 重粒子的非弹性碰撞

潘宁解离 $M^* + A_2 \rightarrow 2A + M$	离子-离子复合 $M^+ + A_2 \rightarrow A_2 + M$ $M^- + A_2 \rightarrow 2A + M$
电离 $M^* + A_2 \rightarrow A_2 + M + e$	电子-离子复合 $e^- + A_2 \rightarrow 2A$
电荷转移 $M^+ + A_2 \rightarrow A_2 + M$ $M^- + A_2 \rightarrow A_2 + M$	原子复合 $2A + M \rightarrow A_2 + M$
碰撞分开 $M + A_2 \rightarrow A_2 + M + e$	原子分离 $A + BC \rightarrow AB + C$
解离分开 $A^- + A \rightarrow A_2 + e$	原子附加 $A + BC + M \rightarrow ABC + M$

反应， k 只是气体温度和每种反应物分子特性的函数。当存在有电离基团时， k 决定于气体和离子的温度。

和电子碰撞反应情况一样，有关激活了的基团、离子和游离基的反应的文献是大量的。实验数据的总结和理论的讨论可以在McDaniel等¹⁰和Kondratiev¹¹写的书中找到。

等离子体中产生的基团，除了参加均质反应(homogeneous reaction)外，还能参加广泛的异质反应，如表Ⅲ所举的例子。这些反应形式发生在位于等离子体中的物体表面，对于半导体材料工艺特别重要。异质反应动力学决定于起反应表面的温度和（在电离情况下）离子打击表面时所具有的能量。在反应表面和等离子体间存在高的直流电位时，反应离子甚至能引起表面材料的溅射。关于固体表面和原子、游离基以及离子间发生的化学反应的讨论，可参阅文献11和12。

表Ⅲ 多相反应

S--和等离子体接触的固体表面
原子复合 $S - A + A \rightarrow S + A_2$
亚稳态去激活 $S + M^* \rightarrow S + M$
原子分离 $S - b + A \rightarrow S + A^B$
溅射 $S - B + M^+ \rightarrow S^+ + B + M$

非平衡等离子体的物理性能

由上一节的讨论中知道电子碰撞过程是导致产生一系列反应基团的原因。由于这些基团对半导体器件制造中所用材料的等离子体工艺是必需的，因此决定电子碰撞过程的速率和实验室能控制的各种因素之间的关系就是很重要的。为此，我们再重复说一下：电子碰撞过程的速率是强烈地依赖于平均电子能量和电子密度的。然而，遗憾的是，这两个物理量都不能单独地控制，而且都和实验室的许多因素以一种复杂形式联系在一起。

平均电子能量 ϵ 是电子能量分布函数 $f(\epsilon)$ 的一种特性。因此，影响 $f(\epsilon)$ 的因素也同样影响 ϵ 。从波兹曼方程可看出，影响 $f(\epsilon)$ 的主要因素是 E_e/P 。这个比值确定为：

$$\frac{E_e}{P} = \frac{E_0}{p\sqrt{2}} \left(\frac{v_m^2}{v_m^2 + \omega^2} \right)^{1/2} \quad (4)$$

式中 E_0 是所加电场的振幅， P 是气体压力， v_m 是弹性碰撞频率， ω 是所加电场的频率。分布函数同样依赖于电子密度的大小。当电子密度足够大以至于电子间的库仑作用显著影响电子能量分布时，就会发生这个情况。

所加电场的频率也会影响 $f(\epsilon)$ 。在音频或更低频率下，等离子体每半周将要熄灭和再产生。这样就引起 $f(\epsilon)$ 随时间波动，而不是以正弦波形式波动。在较高频率下， $f(\epsilon)$ 包括两部分，一部分是不变化的稳态部分，另一部分是波动部分。波动部分是随着电场频率的增加而逐渐变小。最后，在微波频率范围，只有 $f(\epsilon)$ 的稳态部分是主要的部分。因为考虑到 $f(\epsilon)$ 的波动而使问题更复杂，所以我们只讨论 $f(\epsilon)$ 和 ϵ 不随时间变化的简单情况。

维持放电所需的 E_e/P 值是和电子的产生和消失速率的平衡密切相关的。这种稳态条件可通过解电子连续方程而得到。最简单的情况是电子由电离产生，并在放电容器的壁上由电子—离子复合而消失，其连续方程可表示为：

$$D_a \Delta n_e + n_e v_i = 0 \quad (5)$$

式中 D_a 是双极扩散系数^{3, 13}， v_i 是电离频率。方程(5)的边界条件是：在等离子体中央 $\Delta n_e = 0$ ，而在等离子体与其周围的容器壁之间的边界， $n_e = 0$ 。

在完全处于均匀电场中的放电情况，要使方程(5)有稳态的解，必须满足下列条件，并同时满足边界条件：

$$\frac{v_i}{D_a} = \frac{1}{\Lambda^2} \quad (6)$$

方程(6)中的参量 Λ 是放电容器的特征长度。求不同几何形状的 Λ 的公式列于表IV。

表IV 不同几何形状的特征长度

长方体：	$1/\Lambda^2 = (\pi/H)^2 + (\pi/L)^2 + (\pi/W)^2$
圆柱体：	$1/\Lambda^2 = (2.405/R)^2 + (\pi/L)^2$
圆球：	$1/\Lambda^2 = (\pi/R)^2$

方程(6)可改写成下列形式：

$$v_i/P = D_{a1}/(P\Lambda)^2 \quad (7)$$

式中 D_{a1} 是1托时的双极型扩散系数。 v_i/P 主要表示电离常数 $K_i = v_i(RT/P)$ ，如前面所述，它是 E_e/P 的函数。因此，我们看到，对于一个固定的 $P\Lambda$ 值，方程(7)将只有一个 E_e/P 值能满足。

当放电是维持在负电气体中时，电子除了由于扩散和以后在壁上和离子复合而消失外，还可能由于附着形成负离子而消失。方程(7)必须定义为：

$$\frac{v_i - v_a}{P} = \frac{D_{a1}}{(P\Lambda)^2} \quad (8)$$

式中 v_a 是电子附着频率。因为 v_a/P 是 E_e/P 的函数，可以再一次得出结论： E_e/P 只决定于 $P\Lambda$ 。

在某些情况下， E_e/P 可能既是 n_e 又是 $P\Lambda$ 的函数。这可能在电子密度很低，或者很高的情况下发生。对于 n_e 很低的情况，双极型扩散系数是 n_e 的函数，并随 n_e 的增加而降低³。检查方程(7)可以发现 E_e/P 将决定于 $P\Lambda$ 和 n_e 。当 n_e 值高时， n_e 对 E_e/P 的影响有各种原因，当 n_e 足够高时，均质电子—离子复合是电子消失的一

个重要机理。在这种情况下，连续方程对于n成非线性关系，因此Ee/P和n_e有关。由于在高n_e情况下产生库仑作用，n_e也影响f(ε)。这些作用在能量高于第一电离势时影响f(ε)的大小，因此通过方程(2)计算出的电离速率系数，v_i将和Ee/P及n_e都有关系。文献4和5中可以找到这种情况的例子。

最后，我们注意到，如果负离子浓度很大，Ee/P能变得和负离子及电子密度都有关系。造成这种情况有两种因素。其一是当负离子与电子密度的比率较高时，D_a是负离子浓度的函数³。其二是电子从负离子的分开速率变得足够大，在电子连续方程中将成为产生电子的一个主要项。

现在我们再考虑影响n_e大小的因素。当Ee/P和电子密度无关时，电子密度可以直接由功率密度公式求出：

$$\bar{P} = \frac{n_e e^2 E_e^2}{m v_m} \quad (9)$$

改写公式(9)，得：

$$\frac{n_e}{P \Delta} = \frac{m v_m}{[e^2 P \Delta (E_e/P)^2]} \quad (10)$$

式中v_{m1}是v_m在1托时的值。由于式(10)右边只是PΔ的函数，n_e/PΔ可以以PΔ的函数形式画出。图4表示在氧中放电情况下Ee/P和n_e/pΔ与PΔ的关系。

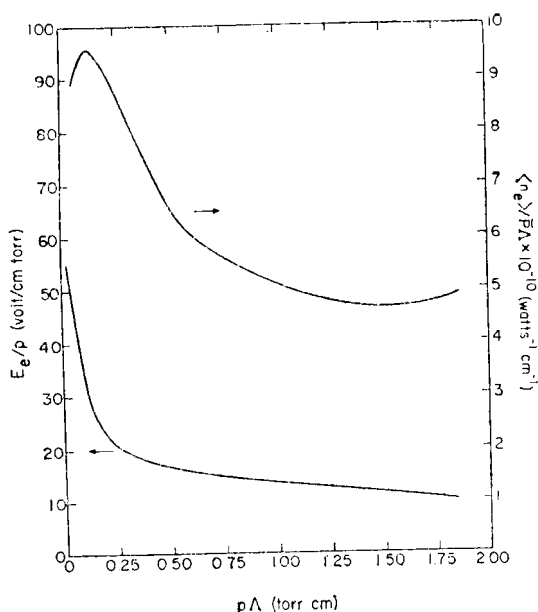


图4 E_e/P和n_e/PΔ与PΔ的关系

以上讨论都是假定等离子体中的电场完全是均匀的。这种情况只有当电子密度梯度的方向和所加电场方向垂直时才能满足，或者在电场频率非常高时才和方向没有关系。在中频率时，在电场方向和电子密度梯度方向相同时，电场不能被认为是均匀的，例如，在一对平行板电极中维持等离子体时，电极间隙的中点电场最弱，而靠近电极表面处电场最强。这种电场分布是在射频放电^{3、4}时在电极附近经常产生辉光放电的原因。

等离子体化学反应系统的模型

从设计新的反应器和改进现有的反应器的观点来看，很需要有关于等离子体化学反应动力学的理论模型。使用这些模型，才有可能研究控制淀积或腐蚀速率、控制等离子体处理的均匀性以及影响装片效果的因素。

要达到这个理想目的，必须从多方面取得数据。首先，要找到维持等离子体的条件和平均电子能量及电子密度的函数关系。这就需要进行直接试验测量或者求得ε和Ee/p及Ee/p和PΔ的函数关系。其次，要有一个关于基本反应过程的完整概念，这个基本反应既控制反应基团的产生和损耗，又控制和每个基本反应有关的速率系数。第三，需要表示出淀积过程或腐蚀过程的速率。因此必须通过单独测量再次确定速率系数。

在这些情况下，如果有了必需的物理数据和化学数据，那么反应基团、反应物等等就可以通过合适的连续方程计算出来。这些方程必须考虑到基团由于扩散、对流以及化学反应造成的消耗。解此连续方程，可以知道所有反应基团在空间的浓度分布情况。这方面的例子可以在Bell¹⁵以及Bell和Kwong¹⁶的研究工作中找到。

遗憾的是，只有在很少的情况下，可以形成这种完整的模型。这种情况是由于缺乏那怕是最简单的化学系统的物理数据。此外，电子碰撞过程的截面数据对大多数反应物是不适用

射頻等離子體的光譜分析

W.R. Harshbarger R.A. Porter

對半導體工藝中所採用的等離子體的光輻射進行分析，有助於了解這些反應系統。本文綜述這種光譜分析技術的若干應用例子。

射頻等離子體最明顯的特點之一是其放電時產生輝光。從等離子體放電一開始用於半導體生產過程中起，人們就靠其輝光放電現象來監控等離子體的條件或工作過程。例如，人們很快就知道氮的等離子體有一特征性的粉紅輝光。這樣的輝光在不合宜的時間內出現就能表明真空系統漏氣。

在最早發表的一篇有關等離子體加工的文獻中，S. L. Irving指出，他通過對氧輝光放電顏色的觀察可以監控去膠工藝過程¹。他觀察到在去膠過程中等離子體呈淡藍色，但當去膠結束時放電的顏色就變為淡粉紅色了。根據這一觀察，人們應用光譜分析技術對半導體生產

的。

在這些情況下，雖然不能從理論上去決定反應基團的濃度，但仍然可能去探索它們在的空間分布情況。這時可以先假定在某一系統中某一點的基團濃度為已知，去解此合適的連續方程。這樣的例子，有Catherine和Turban¹⁷關於氮化硅薄膜淀積的工作，及Battey¹⁸關於去除光致抗蝕劑的工作。

參 考 文 獻

1. E. H. Holt and R. H. Baskell, "Foundations of Plasma Dynamics," Macmillan, New York, 1965.
2. A. Rutscher, "Progress in Electron Kinetics of Low Pressure Discharges and Related Phenomena," presented at the 13th International Congress on Phenomena in Ionized Gases, East Berlin, GDR, September, 1977.
3. A. T. Bell, "Fundamentals of Plasma Chemistry," in "Technology and Applications of Plasma Chemistry," ed. by J. R. Hollahan and A. T. Bell, Wiley, New York, 1974.
4. H. Dreicer, *Phys. Rev.*, vol. 117, 343 (1960).
5. H. Myers, *J. Phys.*, vol. B2, 393 (1969).
6. E. W. McDaniel, "Collision Phenomena in Ionized Gases," Wiley, New York, 1964.

過程中使用的等離子體進行研究和監控²⁻³。這些研究提供了有關發生在等離子體中的物理和化學過程的大量數據。應用光譜分析技術，不僅辨別出了等離子體中的活性基，觀察到了有害雜質，而且能監控過程終點和研究其激發机理。將這些結果與其它分析技術所獲得的數據加以綜合時，等離子體工藝的化學過程就成為一門科學，而不是一種加工技藝。本文將綜述用於半導體生產工藝的等離子體的一些光譜分析技術。

對活性基的鑒別

解決有關等離子體化學過程中最主要的一

7. H. S. W. Massey, E. H. S. Burhop, and H. B. Gilbody, "Electronic and Ionic Impact Phenomena," Oxford Press New York, 1971.
8. D. I. Solovetskii, "Dissociatsiya Molekul Elektronnym Udarnom," in "Khimiya Plazmy," ed. by B. M. Smirnova, Atomizdat, Moscow, 1974.
9. L. J. Kieffer, "Bibliography of Low Energy Electron Collision Cross Section Data," N. B. S. Pub. 289 (and supplements), Washington, 1967.
10. E. W. McDaniel, V. Cermak, A. Dalgarno, E. E. Ferguson, and L. Friedman, "Ion-Molecule Reactions," Wiley-Interscience, New York, 1970.
11. V. N. Kondratiev, "Chemical Kinetics of Gas Reactions," Addison Wesley, Reading, Mass., 1964.
12. G. Carter and J. S. Colligan, "Ion Bombardment of Solids," American Elsevier, New York, 1969.
13. S. C. Brown, "Introduction to Electrical Discharges in Gases," Wiley, New York, 1966.
14. A. T. Bell, *I&EC Fund. Quart.*, vol. 9, 160, 679 (1970).
15. A. T. Bell, *I&EC Fund. Quart.*, vol. 11, 209 (1972).
16. A. T. Bell and K. Kwong, *I&EC Fund. Quart.*, vol. 12, 90 (1973).
17. Y. Catherine and G. Turban, "Plasma Deposition of Silicon Nitride and Silicon Carbide Layers," presented at the Table Ronde Internationale sur les Traitements de Surface et ala Polymerization par Plasma, Limoges, France, July, 1977.
18. J. F. Battey, *J. Electrochem. Soc.*, vol. 124, 437 (1977).

"An Introduction to Plasma Processing, Solid State technology", 1978, 4, P.89-94.
(王正华 译)

个问题是鉴别存在于等离子体中的活性基。质谱学对于这一目的是一种有效手段，但由于它对所有的活性基都很灵敏，因此难于鉴别出哪些活性基真正引起腐蚀。发射光谱学在这方面可能是一种重要的辅助工具。在发射光谱中，人们不能看到存在于等离子体中的所有气体，而只看到那些能发射出光谱的气体。此外，发射强度也不直接与等离子体中活性基的浓度有关。有些基团，例如CO或CN，与其它基团相比是更强的发射体。尽管如此，等离子体的发射光谱已被证明对弄清某些等离子体腐蚀系统的反应机理是有用的。

除了用氧等离子体去刻胶以外，最常用的等离子体是在氟利昂14和氧 (CF_4-O_2) 中放电^{8,9}。这种等离子体能迅速腐蚀硅(Si)、多晶硅(Poly-Si)和氮化硅(Si_3N_4)。如果采用适当的阻挡层，这种等离子体还可用来腐蚀二氧化硅(SiO_2)。几年来，人们观察到，Si的腐蚀速率由于在 CF_4 等离子体中添加少量的 O_2 而增加，但这种腐蚀速率增加的机理却不清楚¹⁰。

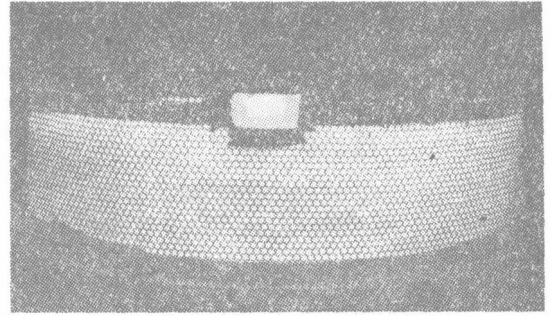
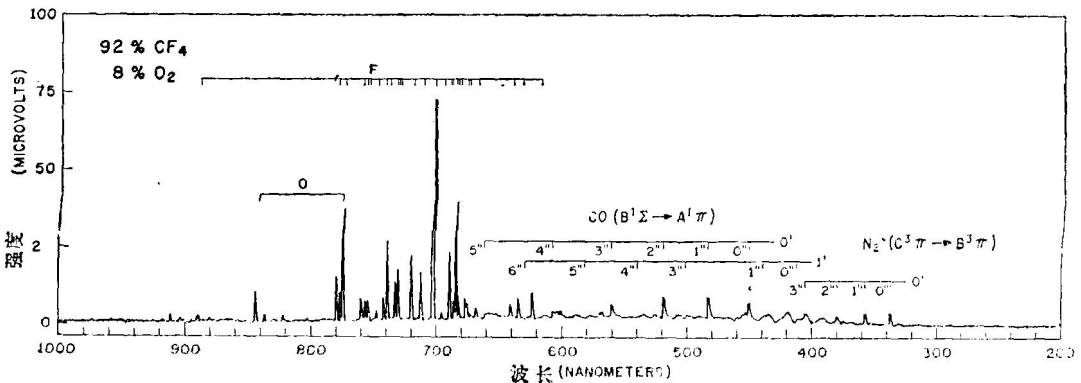
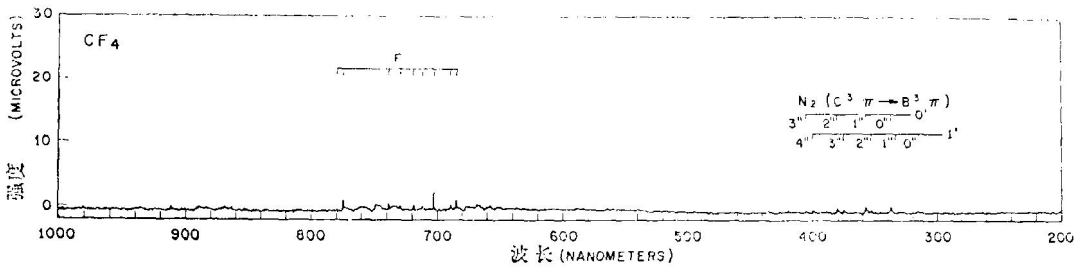


图1 氮等离子体的辉光放电

观察一下图2所示的 CF_4 和 CF_4-O_2 等离子体发射光谱，就可以弄明白这一问题。在纯 CF_4 的发射光谱中可以看到很弱的氟(F)原子的谱线和漏进真空系统的氮的发射谱线一样。相反， CF_4-O_2 等离子体却显示出F原子的发射强度显著提高。此外，还看到氧(O)原子发射谱线，以及普遍存在的氮(N_2)和一氧化碳(CO)的发射谱线。这些谱线表明， O_2 在 CF_4-O_2 等离子体中的作用是在于通过氧(O)原子或分子与等离子体中 CF_3 、 CF_2 或CF游离基的相互作用而放出F原子，而CO是这种分解反应的产物。



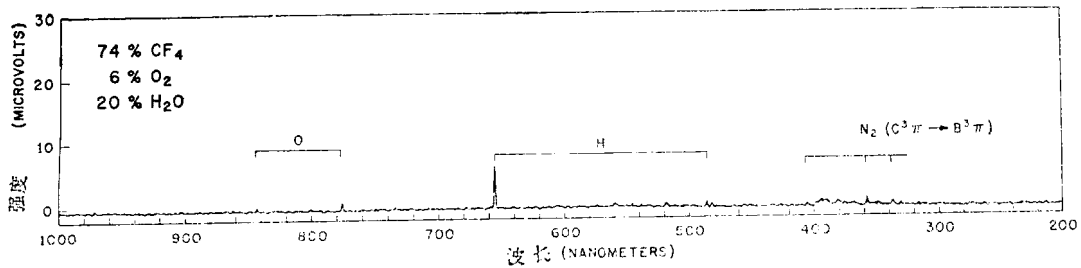


图2 上图为CF₄在射频放电时的发射谱线；中图为92%CF₄-8%O₂射频放电时的发射谱线；下图为74%CF₄-6%O₂-20%H₂O射频放电时的发射谱线。

图3表示F(704毫微米)、CO(483毫微米)和O(845毫微米)的发射强度随O₂在反应混合物中的浓度而变化的情况⁴。可以看出F的发射强度(显然是F原子的浓度)随O₂在反应混合气体中的增加而增加，直至O₂的浓度达到12-15%为止，随后F的发射开始下降。CO的发射曲线与此相似。相反，O的发射强度增加缓慢，直到O₂占反应混合气体的10%，讯号才开始迅速增加。这表明，在O₂的浓度大约达到15%的范围时，放电中的O原子与CF₃、CF₂或CF游离基反应而形成CO和COF₂，并释放出原子F。在同一图中也给出了单晶硅腐蚀速率与O₂浓度的函数关系。可以看到Si的腐蚀速率与等离子体中F的浓度相关性甚好。

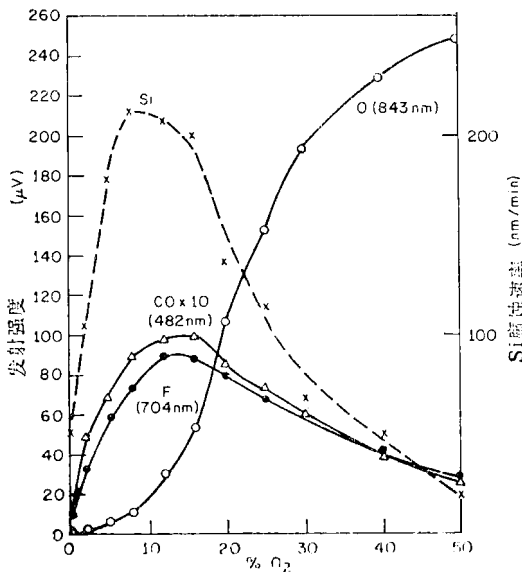


图3 作为O₂百分浓度函数的硅腐蚀速率和发射强度

最近，C.J. Mogab, A.C. Adams和D.L. Flamm应用发射光谱学、质谱学、化学荧光和质量转移等综合分析技术，详尽地研究了CF₄-O₂等离子体。他们的充分实验证实了这样一个假设，即原子态F是腐蚀Si的活性基，而原子O在衬底表面位置上与F竞相进行活性反应。研究CF₄等离子体的其它试验室的报告也都支持原子态F在腐蚀Si中的作用^{1,2,13}。

发射光谱分析的第二个实际应用是研究一种基本不起腐蚀作用的等离子体。在我们的实验室里，有一段时间我们发现CF₄-O₂等离子体的腐蚀性能每一批、每天都没有重复性。我们怀疑水(H₂O)是导致这种重复性差的原因，于是我们便着手进行这种等离子体发射光谱的研究来验证上述假设是否正确。图2中最下面的谱线图证明了我们的假设。我们发现如果在CF₄-O₂等离子体中加入20% H₂O，则原子态F的发射完全消失。F的发射从等离子体中消失并同时停止腐蚀，与我们先前的结论-F是等离子体中的活性腐蚀剂是相符的。可以认为在等离子体中由于H₂O分解为原子态氢(H)或(OH)游离基，因而与腐蚀和荧光发射过程竞相的与F反应。这样的F浓度的淬灭很容易解释清楚为什么腐蚀速率没有重复性。我们采用了尽量减少湿气进入反应室的可能性的步骤以后，就观察到腐蚀速率的重复性好得多了。可以认为这一事实也能解释为什么有人建议采用“……不带片子的假生产的方法，尤其是在等离子体腐蚀机一个小时以上不使用时”¹⁴。

监控等离子体工艺过程

正如文献1中所提到的,发射光谱学在等离子体工艺中首先是应用来监控去光刻胶工序。按Irving的见解,当去胶过程结束时辉光放电的颜色发生变化,其他一些小组的研究人员分析 O_2 等离子体的发射光谱以研究这一效应。^{2,8,15}据J.E.Griffiths,E.O.Degenkolb及其同事报道,他们观察到在去胶过程中存在CO和OH激发态的发射光谱⁷。这些基团是聚合的光刻胶材料氧化的产物。Griffiths和Degenkolb也都指出激发的氧原子是去胶过程中的活性基¹⁶。此外,他们还指出可以通过监测CO和OH的发射光谱来监控去胶过程,并定量地确定去胶过程的终点。他们叙述了包括有单色仪和光电探测器或合适的窄通带波长的滤光片和光电探测器的装置来监控去胶过程。

W.B.Stafford和G.J.Gorin也叙述了对去胶过程灵敏的光电探测器¹⁵,并使之与市售反应器相连接¹⁷。他们发现硫化镉光电池在515毫微米波长处有一峰值光谱响应,与电激发的CO分子发射谱带很接近。这种探测器也同样能定量地确定去胶过程的终点。

在成功地监测等离子体去胶的情况下,一些研究小组对腐蚀等离子体的发射光谱进行研究以便知道是否可用以监控腐蚀过程^{4,5,8,11}。在使用 CF_4-O_2 等离子体的情况下,发现活性F原子的发射强度在腐蚀过程中有所变化。因此,可以通过跟踪704毫微米发射谱线来监控腐蚀过程,而704毫微米是原子态F的最强跃迁辐射。图4示出了这种状况。

业已发现,由于腐蚀反应,激发态F原子的荧光辐射有一定程度的淬灭。在图4中F发射强度随时间的变化曲线是在腐蚀9片3英寸带图形的基片上的多晶硅过程中作出的。腐蚀过程在三分钟时开始明显起来的。可以看出,在射频放电开始时F原子发射强度迅速增加,然后缓慢地上升至光电二极管信号强度约为60毫伏,而到11分钟时又显著上升。这时,信号强度更快地上升,到12.5分钟时达到一稳定值。在这1 $\frac{1}{2}$ 分钟的过程中基片上的多晶硅去除掉

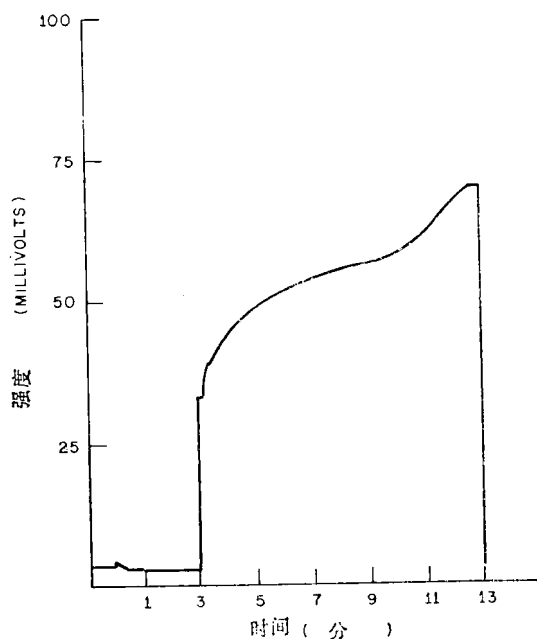


图4 在腐蚀9片3英寸带图形基片上的多晶硅时记录下的 F^* (704毫微米)的发射强度

了。在12.5分钟时出现稳定状态表明腐蚀已经完成,而到13分钟后停止放电。

把基片从反应室取出后用显微镜检验表明腐蚀完全而且钻蚀现象很少。

这一例子说明原子F的发射强度是怎样的用于监控对多晶Si、Si或 Si_3N_4 的腐蚀。R.G.Poulsen也曾讨论用“虚设”片来监控用 CF_4-O_2 等离子体腐蚀很薄 SiO_2 层上的 Si_3N_4 ^{8,18}。此外,他还报道可以通过监测原子态Cl的发射强度来监控对铝的等离子体腐蚀,而原子态Cl是从用来腐蚀铝的 BCl_3 中产生的。

等离子体特征

光谱分析技术用来分析辉光放电已好多年了,关于这一课题已经发表了许多文献¹⁹⁻²¹。实际上,对光谱学工作者来说,研究原子和分子能级和激发过程的最有效的一种技术就是分析所研究的辉光放电中的基团。目前,这些辉光放电系统在半导体器件的制造中有很大的实际应用,这些相同的光谱技术可用于分析等离子体系统中的激发和能量传输机理。

这样测量的一个简单例子是我们最近对

N_2 辉光放电中的气体旋转温度的研究⁶。在这一研究中我们分析了 A. R. Reinberg 所介绍的以前设计的平行板反应器中的辉光放电情况^{2,2}。 N_2 的放电是在维持 1 托压力, 和 1000 瓦 13.56 兆赫射频功率下进行。图 5 示出 N_2 在 300 ~ 1000 毫微米范围内的发射谱线。通过分析

这些未分解的电子振动谱带的结构, 我们可以确定等离子体中 N_2 分子的旋转温度。图 6 表明二次正系统的 $O'-3''$ 振动谱带。假设为波尔兹曼温度分布, 从这一振动谱带所获得的最合适的旋转温度为 585°K。该图还示出了在其它波尔兹曼温度下谱带结构的变化情况。

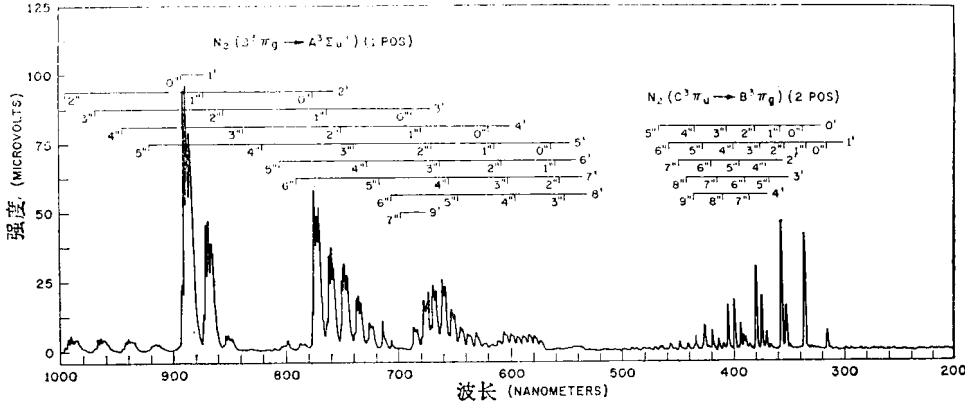


图 5 N_2 的发射光谱

这一温度反应了在接地状态时分子的温度¹⁹。电子碰撞时产生的激发只改变 N_2 分子的电子结构, 而其旋转角动量几乎不受影响。由于在旋转和位移自由度之间的碰撞弛豫数为 4-6, 因此这一气体温度接近于反应分子的移动温度。

等离子体的第二点性能, 即电子温度同样反映在光发射谱中。表 I 列出在不同辉光放电中看到的几种基团的激发能。这些光谱是从平行板反应系统中的等离子体记录下来的, 所用压力在 0.1-5 托, 所用功率密度在 0.1-0.8 瓦/厘米², 射频为 13.56 兆赫。这些基团并不是我们在光谱中所已判明的基团的全部, 但它们可以代表我们所观察到的激发基团。

表 I 在射频等离子体中观察到的激发能

气体	基团	状态	激发能 23.24 (ev)
N_2	N_2	$C^3\pi_u$	11.05
		$B^3\pi_g$	7.39
O_2	O	5P	10.74
		3P	10.99
CF_4	F	2P0	14.74
		4P0	14.37
CF_4O_2	CO	$B^1\Sigma^+$	10.77
		$A^1\pi$	8.07
H_2O	H	H α	12.08
		H β	12.75
He	He	3 ¹ P	23.08
		4 ³ S	23.59

由表 I 可见这些基团 (He 除外) 的激发能在 7-15 电子伏范围内。这一能量范围在某种意义上必定反映放电中的电子能量。氮

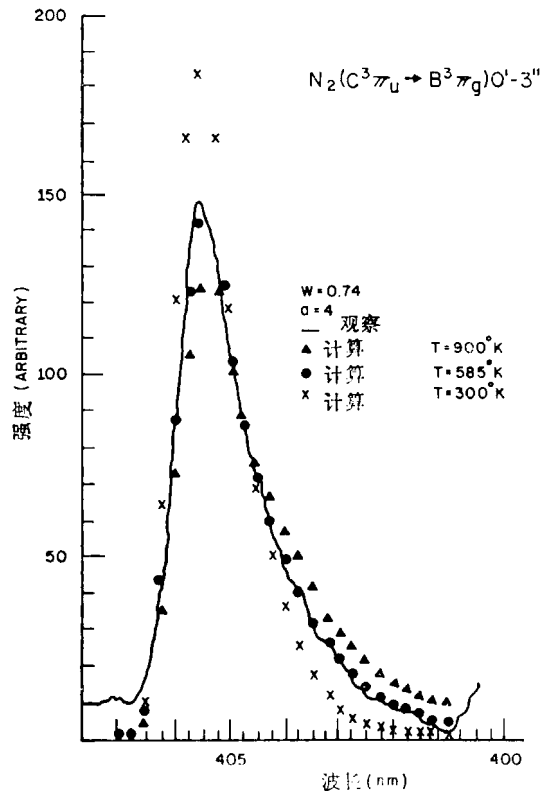


图 6 在 N_2 的二次正辐射系统中对 $O'-3''$ 谱带所观察到的和计算得到的发射强度

的放电显然是一种特殊情况。所观察到的He基团的高度激发电位与He的24.5电子伏电离电位有明显关系。希望在别的试验室中使用探针测量等离子体将会弄清等离子体中所观察到的电子能量与被激发基团的关系。

综上所述,对半导体工艺过程中所用的等离子体的光发射进行分析是十分有用的。它有助于了解反应机理,有助于监控基片加工过程,并能阐明等离子体的激发机理。随着我们对这些辉光放电系统应用和有关知识的进一步发展,我们可以期望光谱学将会继续在了解和控制等离子体工艺中发挥显著作用。

参 考 文 献

1. S. M. Irving, Kodak Photoresist Seminar Proceedings, vol. II, 1968, p. 26.
2. E. O. Degenkolb, C. J. Mogab, M. R. Goldrick, and J. E. Griffiths, *Appl. Spectros.*, vol. 30, 520 (1976).
3. E. O. Degenkolb and J. E. Griffiths, *Appl. Spectros.*, vol. 31, 40 (1977).
4. W. R. Harshbarger, R. A. Porter, T. A. Miller, and P. Norton, *Appl. Spectros.*, vol. 31, 201 (1977).
5. C. J. Mogab, Abstract 146, Electrochem. Soc. Meeting, October, 1977.
6. R. A. Porter and W. R. Harshbarger, Abstract 141, Electrochem. Soc. Meeting, October, 1977.
7. W. R. Harshbarger, R. A. Porter, and P. Norton, submitted to *J. Elect. Mat.*
8. R. G. Poulsen, *J. Vac. Sci. Technol.*, vol. 14, 266 (1977).
9. R. L. Bersin, *Solid State Technol.*, vol. 19, 31 (May, 1976).
10. A. Jacob, U.S. Patent 3,795,557.

11. C. J. Mogab, A. C. Adams, and D. L. Flamm, *J. Vac. Sci. Technol.*, to be published.
12. H. F. Winters, J. W. Colburn, and E. Kay, Abstract 143, Electrochem. Soc. Meeting, October, 1977.
13. G. Schwartz, L. Zielinski, and T. S. Schopen, Abstract 142, Electrochem. Soc. Meeting, October, 1977.
14. R. Kumar, C. Ladas, and G. Hudson, *Solid State Technol.*, vol. 19, 54 (October, 1976).
15. W. B. Stafford and G. J. Gorin, *Solid State Technol.*, vol. 20, no. 9, 51 (Sept. 1977).
16. J. E. Griffiths and E. O. Degenkolb, *Appl. Spectros.*, in press.
17. Tegal Corporation, Richmond, California.
18. R. G. Poulsen and G. M. Smith, Abstract 242, Electrochem. Soc. Meeting, May, 1977.
19. P. W. J. M. Boumans, "Theory of Spectrochemical Excitation," Plenum Press, New York, 1966, p. 1020.
20. R. H. Fourin, "Spectroscopic Gas Temperature Measurement," Elsevier Publishing Company, New York, 1966.
21. A. G. Gaydon, "The Spectroscopy of Flames," Chapman and Hall, Limited, London, 1957.
22. A. R. Reinberg, U.S. Patent 3,757,733.
23. G. Herzberg, "Spectra of Diatomic Molecules," 2nd Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1950.
24. G. R. Harrison, "MIT Wavelength Tables," MIT Press, Cambridge, 1969.

"Spectroscopic Analysis of R.F. Plasmas", *Solid State Technology*, 1978, NO. 4, P. 99—103

(赵善楷 译)

通用射频等离子体腐蚀技术

Adir Jacob

第三部分 选择性腐蚀的机理考虑

采用发射光谱法研究了多元系统He—CF₄—O₂等离子体选择性腐蚀的机理。通过气压为0.3—3托时所产生的活性基团HeF^{*},利用亚稳态He(2³S₁)来获得化学选择性。将本研究应用于两邻层的选择性腐蚀,导致氧化硅/氮化硅和氧化硅/硅组合物的腐蚀速率比分别为20:1和13:1。

在集成电路的制造过程中,等离子体腐蚀已成为腐蚀金属、绝缘体和半导体图形的一种很有前途的工艺。该工艺由于具有重复性好、分辨率高、掩模钻蚀极少,以及边缘截面可控等优点,因而通常能提高生产成品率。无疑,这种工艺是很有价值的,因为它能减少对操作者的危害性,消除存储事故,减少湿腐蚀剂制备和配置中常出现的问题,以及由于是低气压

工作而使化学药品的价格显著下降。

惰性气体溅射方法对于一层相对另一层的腐蚀不能提供必要的腐蚀选择性。试图在这样的系统1-2中获得择优腐蚀,但由于该方法依赖于物理“激励”动量转换,因此没有成功。而等离子体工艺是一种化学“激励”过程,它除了上述优点外,还具有固有性质的化学选择性。一些主要集成电路制造厂家对等离子体腐蚀过

程中的化学选择性进行了研究,其他人³也作了观察,然而由于化学系统的复杂性,妨碍了人们对所提出的有关机理的接受。因此,本文的目的是报导等离子体工艺的机理特性,以证明这种工艺能够对相邻的介质薄膜进行有限的选择性腐蚀。

实验

在保护光致抗蚀剂腐蚀掩模这点上,正在研究的化学提供了近乎最佳的结果。此化学环境就是用过量氦气稀释的二元混合气 $CF_4(O_2)$ 。

众所周知,在等离子体条件下,亚稳态氦, $He(2^3S_1)$ 以下称为 He^* , 由于它与一个合适的低位三重态无交互作用, 因此其能量不能辐射出来。在 $CF_4(O_2)$ 放电情况下, 如果采用 O_2 作为稀有成份, 则有几个反应值得考虑, 其中大多是以能量转移为基础的。每个反应通道的范围用发射光谱法进行观察和分析。

放电流系统是一装有精密流量控制器的派勒克斯玻璃流量管, 与 8 英寸(直径) × 8 英寸(长度)的石英反应室连接, 用电感方法耦合到 13.56 Mc 的电源。反应室的一部分通过一个氟化锂窗口与 Jarrel Ash 真空光谱仪分离开。1200 线/10 Å 光栅(发光主线为 5000 Å)与 400 μ 光谱仪狭缝结合使用, 得到的分辨率为 0.4 Å。采用碘化铯阴极光电倍增器(在 1250 Å 时, 量子效率为 18%) 和 Keithley 微微安培表记录光谱。

在反应区中, 采用的总气体压力范围为 0.3 ~ 3 托(大约为 $4 \times 10^{20} \text{at} \cdot \text{S}^{-1}$), 线速度大约为 1200 cmsec⁻¹。

采用同样的流量装置测量了紫外区和可见区的发射强度。用装有 EMI 9558 Q 光电倍增器的 0.75 米单色仪记录光谱。用光子计数速率表测量信号。按石英碘化物标准校准的量子效率为 4000 - 8000 Å。

研究方法

He^* 与 $CF_4(O_2)$ 相互作用而产生沟道的速率常数是通过激发态产物的发射强度和激发态 Kr 原子的发射强度的比较而推导出的。

将各个产物的速率常数与以前确定的 He^* 的总猝灭速率常数比较, 给出了发射产物沟道的分支比。以前这些分支比的测量都依赖于亚稳态原子 (He^*) 浓度的测定, 根据吸收光谱学, 该浓度是时间和猝灭剂浓度的函数。

这些测量包括的波长范围是 1200 ~ 8000 Å, 因为在此范围内电子激发产物是连续发射的。利用带强度及 $CO(A' - x')$ 和 $N_2(a' - x')$ 带系统的振动分支比率完成了光谱仪响应的校准, 这两种带系统是通过在亚稳态 He^* 流中添加适当的试剂而激发的。

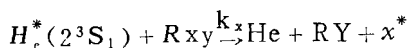
测量速率时, Kr 和 $CF_4(O_2)$ 都是单独与净化的氦子先混合的, 而测量分离强度时, 每一稀释的混合气是通过反应室的反应剂入口导入的。将产物发射谱的特征积分强度与 1240 Å Kr 线的积分强度进行比较, 并对光学系统的相对量子效率作适当的修正。

当 Kr 和 $CF_4(O_2)$ 都暴露于亚稳态 He^* 时, 对任一产物的荧光强度和 1250 Å Kr 线的发射强度作了比较。Kr 线的荧光强度是:

$$I_{k_y}^* = A_i k_y^k [k_y] [He^*]$$

式中, A_i 是相同跃迁的爱因斯坦系数。将此强度与工艺过程中所得到的强度值进行比较, 在增加 $CF_4(O_2)$ 时, 这个工艺产生激发态 X^* 。

通常



具有连续辐射, 而没有猝灭。发射强度是

$$I_{x^*} \propto K_x [He^*(2^3S_1)] [RXY]$$

X^* 和 Kr^* 的荧光比率是

$$I_{x^*} / I_{k_y}^* \propto A_i k_x^k [k_x] [He^*] / K_x [He^*] [RXY];$$

$$\therefore k_x \propto A_i K_x [k_y] I_{x^*}^* / [RXY] I_{k_y}^*$$

在速率值正比于 $K_{kr} = 6 \times 10^{-12} \text{cc/分子} \cdot \text{秒}$ 时, He^* 是由 Kr 猝灭的。He 的其它亚稳态的影响可以忽略。产生 Kr^* 的总速率可由 ~ 1250 Å 的 $Kr(5p) \rightarrow (5s)$ 跃迁强度推导出。因此, 在

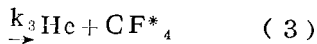
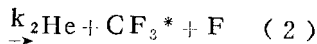
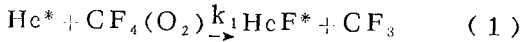
以可见光和紫外光发射的 $\text{He}^*-\text{CF}_4(\text{O}_2)$ 系统中,任何电激发产物的形成速率可以通过对所获得的强度与1250 Å和7600 Å Kr线强度的比较而推导出来。

检测系统的量子效率校准以后,强度 I^*_{Kr} 和 I_x^* 与发射线、带或连续谱的积分面积成正比。基态Kr原子的自吸收会影响 I_{Kr}^* ,用相当低的Kr浓度($\approx 1.5 \times 10^{11}$ at/cc)就可以将此影响减至最小程度,因而,可以很容易测量出这些强度。

结果与讨论

对于 $\text{He} + e \rightarrow \text{He}^*(2^3S_1)$

检验了下面一些反应方程



希望在控制实验条件(总气压和射频功率)下,最可能的沟道对分子介质(氮化硅、氧化硅)具有一定差别的亲和力,而对原子半导体硅的亲和力可忽略。这种形式的相互作用要求:为了描述某一可能多沟道系统的时间演变,必须考虑所有内部自由度的激发和去激活。接着必须用非平衡化学动力学的基本原理详细分析此系统中所发生的全部相互作用。

HeF^* 是在低压(≤ 0.5 托)下形成,并与射频功率无关,这说明 He^* 的猝灭超过90%。显然,除了 HeF^* 外,低能量 He^* ,在低压下不能打开出口沟道。为了使 HeF^* 充分利用, HeF^* 键合离解为 He^* 和 $\text{F}_1\text{D}(\text{He}-\text{F})^*$ 的能量必须大于 CF_4 、 $\text{D}(\text{CF}_3-\text{F})$ 的键合离解能。由离解能的上限间接证明了 HeF^* 的形成。

反应(1)离解激发的短波长极限(λ_{min})相当于5.72电子伏,这个值很接近于 CF_4 的键合能(5.6电子伏)。如果热化学极限低于予离解极限,而 λ_{min} 相当于形成 HeF^* ,同时全部过剩能量都作为 HeF^* 的振动能量释放,那么短波长极限将接近于实际的键合能。相反,如果

反应是通过长寿命复合物 CF_3^* 或 CF_1 发生的话,那么正如反应(2)和(3)所示, HeF^* 所含的振动能量很小,由 $\text{D}(\text{CF}_3-\text{F})$ 估算出的 λ_{min} 值也很低。但是,并没有观察到这种情况。在低压下,长寿命复合物的机理是不重要的。而且,在低压下,如果是单晶硅的话,那么 HeF^* 相对于予离解为 F^* 来说是很稳定的,这就是为什么 HeF^* 发射很强的原因。

另一方面, HeF^* 中蕴藏的激发能量有助于其它硅衬底材料的腐蚀反应(图1)。当与分子衬底(SiO_2 、 Si_3N_4)相互作用时,最后导致 HeF^* 发生离解,而能放出有限的气体。但是 HeF^* 与元素硅相互作用时,不会使硅发生显著的腐蚀,至少是由于能量传递效率低,使 HeF^* 离解微不足道。在硅半导体情况下, HeF^* 低压(~ 0.5 托)发射保持不变,主带系统的最大值为1750 Å,而二次带系统的最大值保持在1950 Å。

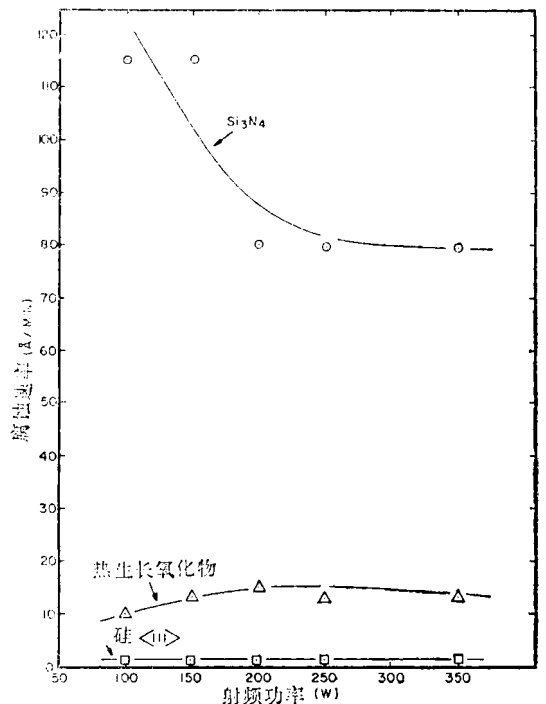


图1 在0.5托选择性腐蚀中,薄膜平均腐蚀速率与射频功率的函数关系

二次带与主带系统的强度比在0.5托是1.7,在3托降到0.45。随着气压的增加,主带

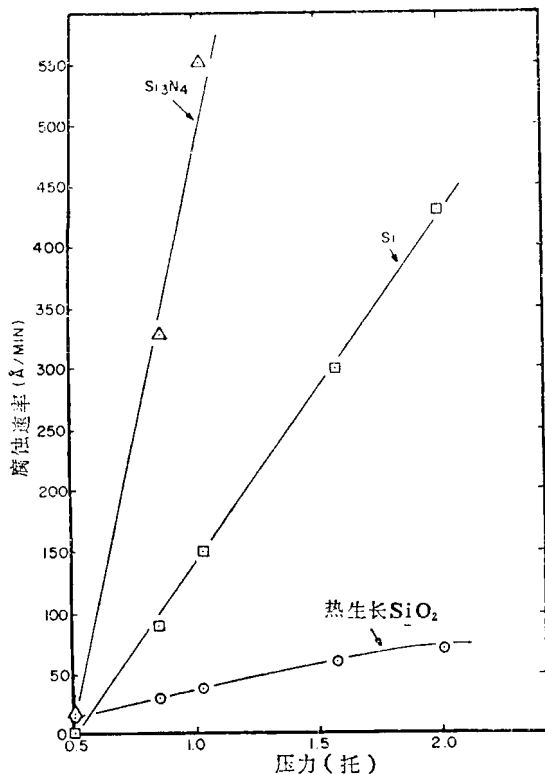


图2 在150瓦射频功率下薄膜平均腐蚀速率与总气压的函数关系

系统的最大值略微漂移到较长的波长 (1760—1770 Å)，而二次系统的最大值对气压变化更灵敏，会漂移到较短的波长，并在大约 4 托时消失。此实验事实和半导体硅的有限腐蚀 (图2) 都表明：最切形成具有高振动能级的 HeF*，接着予离解，解为 He + F* (F* 的直接形成是一吸热过程，在低压下观察不到)。在短波长下强度随气压的增加而减小是振动弛豫的结果。当总压力增加时，用 He 使 HeF* 振荡发生弛豫是很有效的，同时几乎在每次气体动力学碰撞时都有大量的能量发生传递。在这些条件下，振动和电子弛豫都发生，而且粒子数分布漂移到较低的振动能级。检测的 F 原子是正的 (采用吸收原子线检测) 并且在较高气压下，全部硅化合物都发生腐蚀 (图 2)。

在高气压下 HeF* 发射猝灭到小于总数的 50%，而连续性发射变为一般的发射。CF₄ 的发射范围规定为 2100—2700 Å (在 2600 Å 有一最大值)，而 CF₂* 或 CF₃* 的发射范围规定为

4150—6600 Å (在 4700 Å 有一个最大值)。通常，与这些能级的予离解相反，由电子碰撞激发的分子离解截面决定于初始激发态的各振动能级的粒子数。但是，在别的恒定实验条件 (如固定射频功率) 下，增加气压，使电子激发态离解速率常数也有所减小，这是由于各种电子激发态离解的相对几率减小而引起的。相对几率的减小则是由于能级猝灭 (由碰撞所引起) 与予离解过程竞相所致。(对于比 CF₄ 对称性差的分子来说，予离解对分子离解的作用必然增加)。

当反应温度随射频功率增加时，振动温度趋向于增加。这些能级的激发和予离解的作用变得更明显。而且随着温度增加，旋转效应变得更重要，这是因为离解几率与旋转温度有关。因此，增加振动和旋转温度具有降低离解阈值的效果，从而提高 F 原子的净浓度，并能够进行 Si 和含硅材料的腐蚀。

在低压 (≤ 0.5 托) 下，此系统显然不存在 F 原子，随着压力的增高出现了 F 原子，因此对两种不同但相邻的层可以进行化学选择性腐蚀。在所研究的压力范围内腐蚀反应必需的作为先驱物 — HeF* 的选择性能有助于在实验条件下

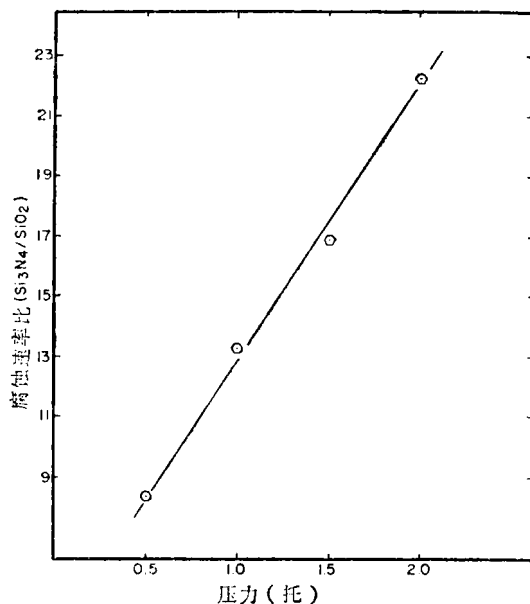


图3 在150瓦射频功率下平均腐蚀速率比 (Si₃N₄/SiO₂) 与总气压的函数关系

得到氯化硅——氧化硅的腐蚀速率比超过20:1 (图3), 而测得的——氧化硅的腐蚀速率比高达13:1 (图4)。

这种系统要求总反应压力严格保持在很窄的范围内, 因而要求操作者特别慎重。当腐蚀速率比可能具有内在的意义(例如, 实际上硅腐蚀速率为零值, 而二氧化硅有限腐蚀)时, 相应的绝对平均腐蚀速率, 特别是二氧化硅的这种腐蚀速率可能太低, 不能保证其直接应用于生产目的。

值得注意的是, 对等离子体态二元气体系统 H_2-CF_4 的初步实验也表明类似的薄膜成份具有腐蚀选择性。然而, 介质的绝对腐蚀速率比较高(SiO_2 为几百 $\text{\AA}/\text{分}$), 而硅的腐蚀速率也相当高(几十 $\text{\AA}/\text{分}$)。在这些条件下, 硅腐蚀速率实际上不可能为零值, 但预测的二氧化硅—硅的腐蚀速率比为10:1—15:1。在亚稳态 $H(2^3S_{1/2})$ 中产生的H原子(与超过 <0.01 秒的较长的寿命有关), 与这里讨论的 HeF^* 一样, 不太可能有助于用亚稳态先驱物 $He(2^3S_1)$ 通过活性复合物 HF^* 产生化学腐蚀选择性。

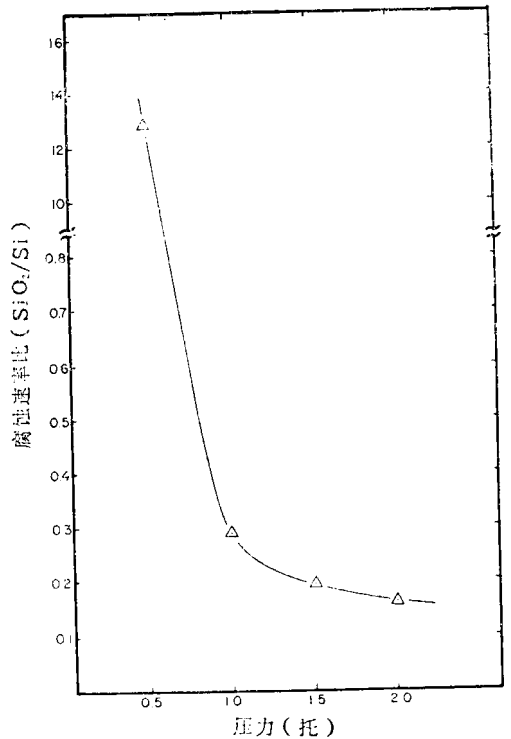


图4 在150瓦射频功率下平均腐蚀速率比(SiO_2/Si)与总气压的函数关系

“The Versatile Technique of RF Plasma Etching,” Solid State technology, 1978, NO 4, P.95—98 (曹普光 译 解志华 校)

薄膜的快速等离子体腐蚀

R. A. H. Heinecke

已研究出一种腐蚀集成电路片上铝薄膜的等离子体腐蚀工艺, 其腐蚀速率与湿法化学腐蚀速率相同, 但无钻蚀现象。这种工艺适用于普通的抗蚀剂掩模层, 它以局部的 CCl_4 等离子体为基础, 可以提供活性基团来去除铝上原有的氧化层和腐蚀铝。

在制造硅集成电路的所有腐蚀工艺中, 铝膜腐蚀是要求最高的一种。由于气泡引起的连条, 台阶本来就薄弱的截面进一步变弱以及产生钻蚀现象, 都是湿法腐蚀工艺常见的问题。因此, 电路布线设计规则主要取决于铝腐蚀工艺质量。

1972年到1974年间, 根据美国政

府的合同, 标准电极实验室研制了等离子体腐蚀工艺。这个工艺已克服了上述那些问题, 並提供了亚微米大小的分辨率。这项工作的成功是依靠了在研制能控制 $SiO_2:Si$ 系统选择性的等离子体腐蚀工艺过程中所获得的知识, 下面简单叙述一下这些概念和适用的装置设计。