

BF₂⁺注入束的沾污和对结深的影响

李金华* 邹世昌

(中国科学院上海冶金研究所离子束开放实验室)

1989年3月10日收到

注入系统中剩余气体分子与 BF₂⁺离子的碰撞,造成了不同能量的 BF⁺, F⁺, B⁺离子束对 BF₂⁺注入束的沾污。注入样品的 SIMS 分析结果和理论计算都证明,这种沾污使 BF₂⁺注入的结深明显增加,不利于浅结的制备。用静电束过滤器可部分消除这些沾污束,在先加速后分析的注入机中,也未观察到 BF⁺束的沾污。此外,提高系统真空度会明显降低沾污峰的强度。

主题词 离子注入, 浅结制备, 集成电路工艺, 离子束分析

我们曾对双电荷离子束(如 P⁺⁺), 在先分析后加速注入机中由于离子束与剩余气体分子的碰撞和电荷交换而产生的沾污作过分析和实验验证^①。对于分子离子,例如 BF₂⁺注入束,在分析器后部至加速管前,由于 BF₂⁺离子与剩余气体分子的碰撞,也会产生沾污束。BF₂⁺注入样品的 SIMS 分析结果指出,这种束的沾污会影响注入结的深度,对浅结的制备是有害的。本文将分析沾污束产生的原因,沾污束的实验观察,探讨消除沾污束的方法,以及从理论上计算沾污束对浅结结深的影响。

一、BF₂⁺沾污束的产生原因

图1是先分析后加速离子注入机的前半部结构示意图。被分析的 BF₂⁺离子在分析器的后半部作准直线运动。由于该区域既远离离子源头部真空泵,也远离注入机中部真空泵,注入机工作时,离子源放气的低真空将比较容易地由分析器扁管传到这里,而且因为在加速管人口一般装有一个口径不大的可变光阑孔,它的存在使分析器后部至加速管前区域,与注入机中部的高真空区存在较大的压差,即注入机在该区域的真空度较差,对不是连续运转的注入机来说,这儿的真空度更差些。BF₂⁺离子在该区域与剩余气体分子碰撞,产生各种可能的离子(如 BF⁺, F⁺, B⁺) 和中性原子。由于该区域已出了有效分析区,且加速管人口光栏都有一定的几何尺寸,因此,在一定角度内运动的这些由碰撞所产生的离子将与 BF₂⁺离子的主流一起,经过加速管而得到加速,并入射到靶上。这些离子束就成为 BF₂⁺离子束的沾污束。

由于 BF₂⁺离子的 B—F 键结合脆弱,当 BF₂⁺离子以 25—35 keV 的吸极引出能量

* 工作单位,常州半导体厂。

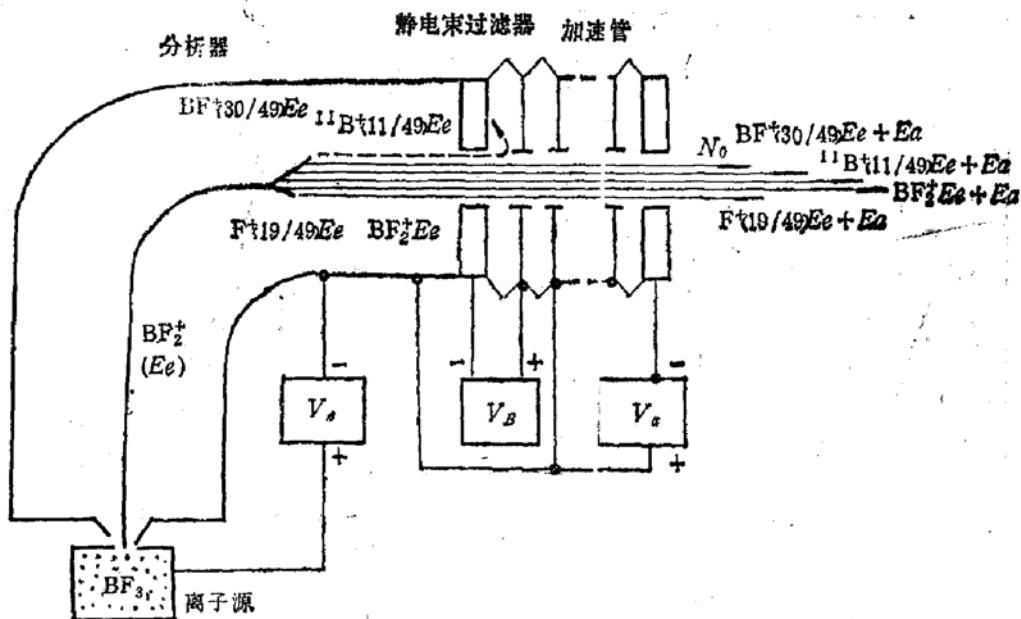
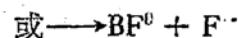
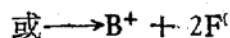
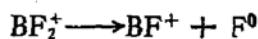


图1 先分析后加速注入机中沾污束的形成原因示意

高速运动时,与剩余气体分子的碰撞很易使分子键断裂。即:



或 $\cdots \cdots$

BF_2^+ 离子碰撞解体时,一般认为以质量比分配能量^[2]。因此, BF^+ , F^+ 和 $^{11}\text{B}^+$ 的能量分别为 BF_2^+ 离子引出能量 E_e 的 $30/49$, $19/49$ 和 $11/49$ 。经过加速, BF_2^+ 及沾污束 BF^+ , F^+ 和 $^{11}\text{B}^+$ 的能量分别为

$$E_{\text{BF}_2^+} = E_e + E_a \quad (1)$$

$$E_{\text{BF}^+} = \frac{30}{49} E_e + E_a \quad (2)$$

$$E_{\text{F}^+} = \frac{19}{49} E_e + E_a \quad (3)$$

$$E_{^{11}\text{B}^+} = \frac{11}{49} E_e + E_a \quad (4)$$

式中, E_a 为加速能量。这就是沾污束的能谱。

二、沾污束的实验观察

图2是150 keV, $1.5 \times 10^{16}/\text{cm}^2$, BF_2^+ 注入Si后 ^{11}B 的SIMS测量结果。我们可以清楚地看到在主峰的深部有一沾污小峰。经深度的测定认为它是130.6 keV的沾污束 $^{11}\text{B}^+$ 的峰。前面的主峰是150 keV BF_2^+ 注入Si时 ^{11}B 成分的分布(按质量比分配能量, 它的能量为33.7 keV)。用面积积分确定, 沾污束 $^{11}\text{B}^+$ 约占 BF_2^+ 主束流强度的2.3%。由于

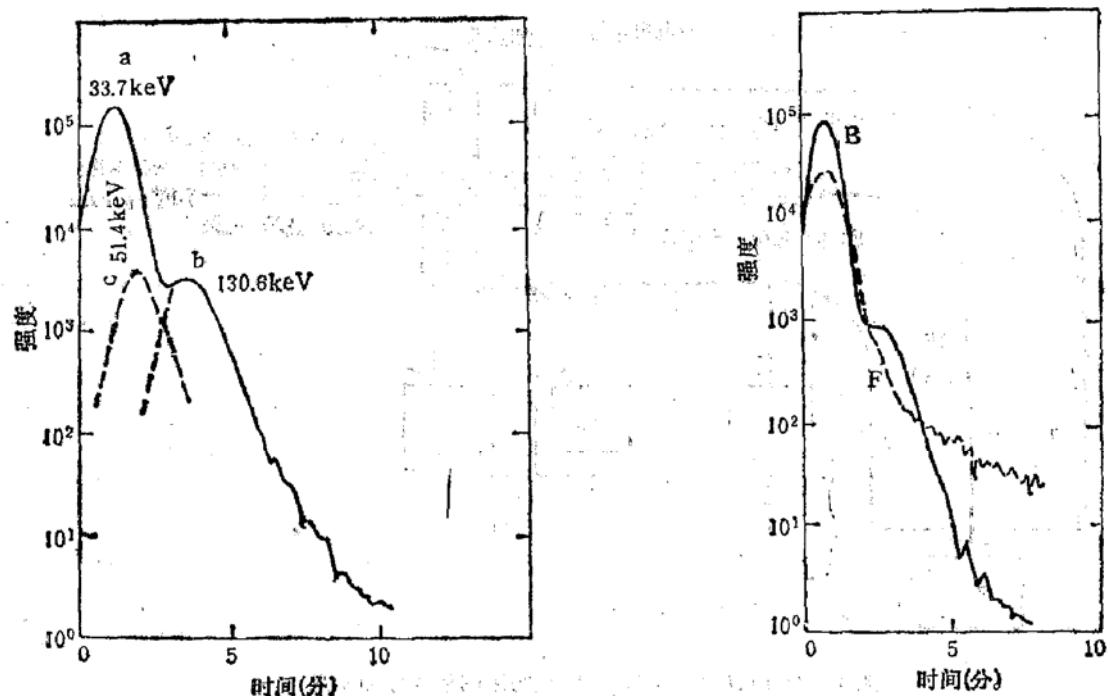


图2 被沾污的 BF_2^+ 束(能量 150 keV, 剂量 $1.5 \times 10^{16}/\text{cm}^2$)注入 Si 后 ^{11}B 的 SIMS 分析谱

图3 被沾污的 BF_2^+ 束注入 Si(能量 100 keV, 剂量 $1.5 \times 10^{16}/\text{cm}^2$)后, ^{11}B 和 ^{19}F 的 SIMS 谱

能量的差异较大,而 CMOS 集成电路工艺中,源漏注入的剂量又很高,因此,这种沾污束已能明显影响浅结的结深。另外, BF_2^+ 沾污束由于它注入 Si 时还将分裂成 B 和 F, B 分得的能量为 BF_2^+ 能量的 $11/30$ 。因而该沾污束中 B 的相应能量为 51.4 keV, 它的分布例应如虚线峰所示。它的强度从图 4(a)可见与 $^{11}\text{B}^+$ 沾污峰相当,它的分布又与 BF_2^+ 主束中 B 的峰相近,因此,在 SIMS 谱中不易觉察。图 3 是 100 keV, $1.5 \times 10^{16}/\text{cm}^2$, BF_2^+ 注入 Si 后 ^{11}B 和 ^{19}F 的 SIMS 谱,它与图 2 样品一样,注入后也未作退火。从图中同样也能看到沾污峰的存在。

在有些性能良好的注入机(如 Varian 200-DF₄, DF_{4a} 等)上,可以直接从束监测示波器上观察束被沾污的情形。例如,对 200-DF₄ 注入机,我们只要将 Farady 转换开关打到 Center Farady 位置,将扫描开关打到 $1/x$ 位置,这样在束监测示波器上就可以直接观察到这种沾污束的存在。图 4(a)是 BF_2^+ 离子束受沾污时的束谱。它的形成原因是注入机为了偏开中性束,在 x 扫描板上加了一个强度为 E_0 的直流偏转电场,因此束中不同的能量成分被解析了出来。我们可以通过束的运动方程和初始条件,确定沾污小峰的位置。

据图 5,在偏转板长度 l 之内,离子的运动方程和初始条件为

$$\begin{cases} m\ddot{x} = qE_0 \\ \dot{x}|_{t=0} = 0 \\ x|_{t=0} = 0 \\ \dot{y} = v_0 \end{cases}$$

设离子在 x 偏转板内运行的时间为 t_1 , 则 $t_1 = l/v_0$ 。解运动方程可以得到离子在偏转板出口处的 x 位置。

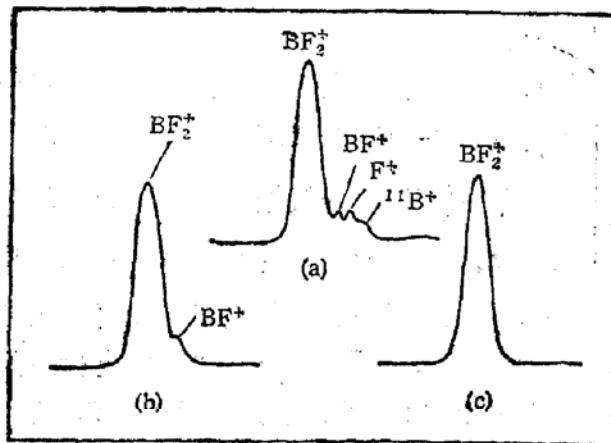


图4 Varian 200-DF₄₊注入机中心法拉第上显示的束谱 (a) 束过滤器断开, (b), 束过滤器接通, $V_s = 35\text{kV}$, $V_B = 20\text{kV}$; (c), 束过滤器接通, $V_s = 32\text{kV}$, $V_B = 20\text{kV}$

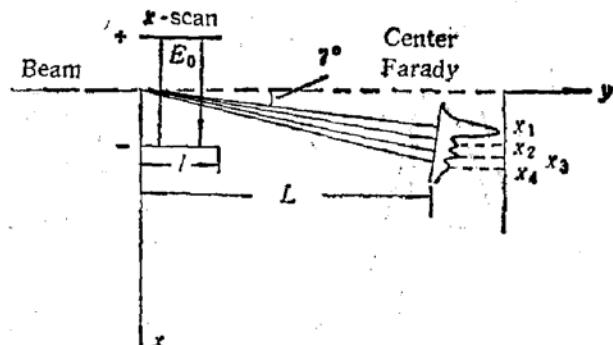


图5 中心法拉第筒显示的束谱位置示意

$$x' = \frac{qE_0l^2}{2mv_0^2} = \frac{ql^2}{4E}.$$

式中 E 为离子在偏转前的动能。在出口处, 离子的横向速度

$$v_x = \frac{qE_0l}{mv_0}.$$

在 x 偏转板以后的一段路程中, 离子不再受到力的作用, x 和 y 二个方向都作匀速运动。再经约 $t_2 = (L - l)/v_0$ 的时间(忽略偏转的 7° 角不计)到达中心法拉第筒底, 在到达筒底时的 x 位置为:

$$x = \frac{qE_0l^2}{4E} + \frac{qE_0l(L - l)}{mv_0^2} = \frac{qE_0l(2L - l)}{4E} \quad (5)$$

当 $E_s = 25\text{keV}$, $E_a = 125\text{keV}$ 时, 据式(1)~(4)有:

$$E_{\text{BF}_2^+} = 150\text{keV}, E_{\text{BF}^+} = 140.3\text{keV}, E_{\text{F}^+} = 134.7\text{keV}, E_{^{11}\text{B}^+} = 130.6\text{keV}.$$

据式(5), 主峰与沾污峰在中心法拉第上的位置分别为

$$x_1 = x_{\text{BF}_2^+} = \frac{qE_0l(2L - l)}{600}, \quad x_2 = x_{\text{BF}^+} = \frac{qE_0l(2L - l)}{561.2},$$

$$x_3 = x_{\text{F}^+} = \frac{qE_0l(2L - l)}{538.8}, \quad x_4 = x_{^{11}\text{B}^+} = \frac{qE_0l(2L - l)}{522.4}$$

这种位置分布与双电荷束的沾污峰的分布不同, 在双电荷束 P^{++} 被沾污时, 不同能量的二个沾污峰在主峰 P^{++} 的两侧^[4], 它们的位置也可由式(5)计算确定。

三、沾污束的消除方法

从前面的分析, 已经知道使分子离子束产生沾污的原因。针对这些原因, 可以有三种消除或减小沾污的方法。

(1) 采用先加速后分析结构的注入机注入。(虽然这种选择往往是困难的)。图6是

先加速后分析注入机注入试样(未作退火)的 SIMS 分析谱。可见 $^{11}\text{B}^+$ 和 $^{19}\text{F}^+$ 的峰是平滑、“干净”的。

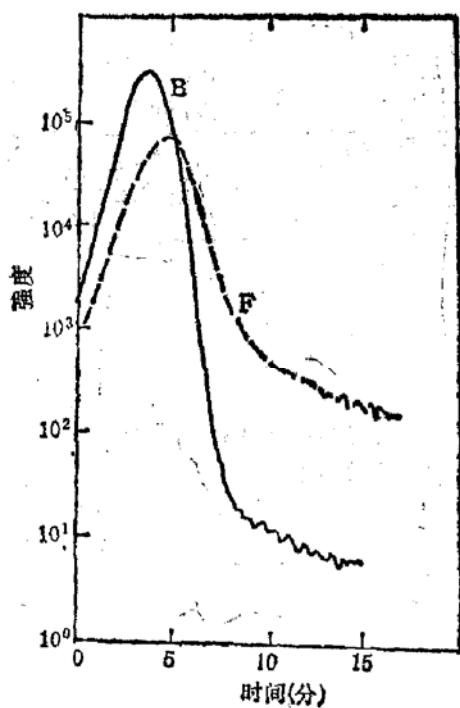


图 6 先加速后分析注入机 BF_2^+ 束注入 Si ($E = 300\text{keV}$, $N_d = 2 \times 10^{15}/\text{cm}^2$) 的 ^{11}B , ^{19}F 的 SIMS 分析谱

的吸出电压分别降至 24 kV 和 32 kV 即可。这二种办法的后一种可行性较大, 因为成品束过滤器电源密封牢靠, 电压不易更改。

如前所述, 由于 BF^+ 沾污束中 B 成分注入后与主峰 BF_2^+ 中 B 成分的能量差别远不如 $^{11}\text{B}^+$ 沾污束的差别大, 因此, 在要求不高时, 可以不必追求完全消除 BF^+ 沾污束。

(3) 提高注入机的真空度和选择离子源最佳工作状态。在文献 [1] 中, 我们已分析过真空中度和离子源状态对双电荷束的影响。同样, 对分子离子, 离子源放气真空中度灵敏地影响着沾污峰的高低, 离子源磁场和束聚焦对沾污峰也有一定影响。应当仔细调节使它们尽可能工作在最佳状态。显然, 连续运转的注入机将比间断工作的注入机有更高的真空中度, 有利于减少沾污成分。

四、沾污束对结深影响的计算

在图 2 和图 6 的 SIMS 谱中, 可以清楚地看到, 沾污峰的存在能使注入结的深度明显增加, 但是由于未能将 $^{11}\text{B}^+$ 的二次离子产额标定成体浓度, 因此不能具体确定结深的增加值。为了大致估算沾污束对 BF_2^+ 注入结深的影响, 我们采用理论计算的方法。另外, 在浅结工艺中, 正越来越多地采用快速瞬时退火技术, 使得注入杂质在激活过程中没有大的再分布, 所以表 1 中仅用杂质的注入分布来估算结深。表 1 中采用常规 CMOS 源漏注入剂量 ($2 \times 10^{15}/\text{cm}^2$) 和衬底浓度 ($2 \times 10^{15}/\text{cm}^3$), 计算了在沾污束 BF^+ 和 BF_2^+ 的强度分别为 2.3% 时对结深的影响。计算时采用高斯分布模型, 没有考虑沟道分量

表 1 沾污束对结深影响的估算
(衬底浓度 $2 \times 10^{15}/\text{cm}^3$, N型 Si, 注入剂量 $2 \times 10^{15}/\text{cm}^2$)

| 吸极电压 (kV) | 加速电压 (kV) | BF_2^+ 能量 (keV) | 100% BF_2^+ 结深 (Å) | 100% BF_2^+ + 2.3% BF^+ 结深 (Å) | 100% BF_2^+ + 2.3% BF^+ + 2.3% $^{11}\text{B}^+$ 结深 (Å) |
|--------------|--------------|-----------------------------|--------------------------------|--|---|
| 25 | 10 | 35 | 1091 | 1114 | 1583 |
| | 25 | 50 | 1475 | 1539 | 2603 |
| | 35 | 60 | 1678 | 1796 | 3229 |
| | 55 | 80 | 2257 | 2305 | 4209 |
| | 75 | 100 | 2432 | 2763 | 4998 |
| | 125 | 150 | 3271 | 3775 | 6517 |
| 35 | 15 | 50 | 1475 | 1490 | 2103 |
| | 25 | 60 | 1678 | 1723 | 2750 |
| | 45 | 80 | 2257 | 2372 | 3846 |
| | 65 | 100 | 2432 | 2674 | 4695 |
| | 115 | 150 | 3271 | 3710 | 6315 |

和注入时分子效应引起的增强扩散。 $^{11}\text{B}^+$ 注入 Si 的平均投影射程 R_p 及其标准偏差 ΔR_p 的理论值来自文献 [3], 用线性内插得出。 BF_2^+ 和 BF^+ 中 B 成分的能量由质量比分配能量的经典规则提供, 虽然由于分子效应, BF_2^+ 注入时, B、F 的射程分布与此将有所差别^[4]。

从表 1 中我们可以清楚地看到:

1. 沾污束 $^{11}\text{B}^+$ 对结深的影响最大, 而且其影响随着加速能量的提高迅速增大。
2. 由于剂量强度的差别, 沾污束 BF^+ 对结深的影响, 在加速能量较低时不甚明显。因此, 在要求不高时, 用现成的束过滤器消除了 $^{11}\text{B}^+$ 的沾污之后, 并不明显影响 BF_2^+ 注入的期望结深。
3. 在同样条件下, 注入机的吸极电压越高, 沾污束对结深的影响越小。

最后, 这种沾污束对结深的影响, 显然不同于熟知的沟道效应解释, 即认为以较低能量的 BF_2^+ 注入制备成结时, 由于 B 成分的能量更低, 容易发生沟道效应, 较大的沟道成分使得结深增加。因此, 先用 Si 注入作预非晶化再注 BF_2^+ 的办法^[5]不能改变上述沾污束引起的结深改变。

五、结 论

由于注入机加速管前面剩余气体分子与 BF_2^+ 束的碰撞, 使 BF_2^+ 注入束受到了 BF_2^+ 离解后不同能量的 BF^+ , F⁺ 和 $^{11}\text{B}^+$ 束的沾污。实验分析和理论估算证明, $^{11}\text{B}^+$ 沾污束对 BF_2^+ 注入结的结深有较大影响, 不利于浅结制备。这种影响不能用预非晶注入来消除。消除或减轻这种沾污的主要方法是采用先加速后分析注入机注入和在先分析后加速注入机上加接静电束过滤器, 提高注入系统的真空度也能有效地降低沾污束的强度。

参 考 文 献

- [1] Li Jinhua, Pan Yiming, Vacuum, Vol. 39, No. 2—4, 209 (1989).

- [2] S. M. Sze, VLSI Technology, Bell laboratories Incorporated Murray Hill, New Jersey, p 253 (1983).
- [3] O. D. Trapp, R. A. Blanchard, L. J. Copp and T. I. Kamins, Semiconductor Technology handbook, New York, (1984).
- [4] C. G. Liao, *et al.*, Proceeding of the Shanghai workshop on Ion Implantation. Edited by Zou Shichang, (1988).
- [5] M. E. Lunnon and J. T. Chen, *J. Electrochem. Soc. Solid State Science and Technology*, 132(10), 2473 (1985).

Contamination of BF_2^+ Beam and the Effects on Implantation Junction Depth

Li Jinhua* and Zou Shichang

(Ion Beam Laboratory, Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract

The BF_2^+ beam can be contaminated by BF^+ , F^+ and B^+ beams with different energies due to the collisions between BF_2^+ and the remaining gas molecule in the system. It is unfavourable for shallow junction formation because the junction depth would be increased remarkably as shown by the SIMS results. Three methods of removing or decreasing the contamination beams are presented.

Key words Ion implantation, Shallow junction fabrication, IC process, Ion beam analysis

* the communication address: Changzhou Semiconductor Factory.