

# $F^+ + B^+$ 双注入浅结研究

李金华<sup>a</sup> 林成鲁<sup>b</sup> 冒建军<sup>c</sup> 何建军<sup>c</sup> 邹世昌<sup>b</sup>

(<sup>a</sup> 江苏石油化工学院物理教研室 常州 213016)

(<sup>b</sup> 中国科学院上海冶金所离子束开放实验室 上海 200050)

(<sup>c</sup> 常州半导体厂 常州 213001)

**摘要** 对不同条件的  $F^+ + B^+$  双注入样品和对应能量的  $B^+$  和  $BF_2^+$  注入样品,作  $1100^\circ\text{C}$ , 10 秒的瞬时热退火,然后用扩展电阻仪测量其载流子分布和结深. 结果显示,用  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$  的  $F^+$  预注入能有效地抑制低能  $B^+$  注入的沟道效应,获得陡直的浅结. 对样品的结特性测试表明,  $F^+ + B^+$  双注入样品的结漏电与  $B^+$  注入样品一致,小于对应能量的  $BF_2^+$  注入样品. RBS/C 分析表明,只要在衬底近表面附近单晶中有高浓度的间隙原子区,就能抑制低能  $B^+$  注入的沟道效应,并非必需使衬底达到预非晶状态.

EEACC: 6170F 2530B

## 1 引言

随着 MOS 器件沟道长度的缩短,要求结越来越浅. 由于  $As^+$  离子的大质量和低扩散系数, N 型浅结的获得比较容易. 对 P 型浅结,由于 P 型掺杂剂  $B^+$  的质量小,低能时射程也较大. 而且,沟道临界角  $\psi_c$  与入射能量的  $\frac{1}{4}$  次方成反比<sup>[1]</sup>,所以低能注入时

会产生大的沟道效应,加大了制备 P 型浅结的难度. 目前对  $0.3 \sim 0.5 \mu\text{m}$  的 P 型浅结,国内外一般用  $BF_2^+$  分子离子注入来获得. 虽然这种方法简单,一般离子注入机上都能用,但是,由于  $BF_2^+$  离子束在注入前的传输过程中会产生分解和被沾污<sup>[2]</sup>,以及注入初期,  $BF_2^+$  在表面解体时的低能 B 也会产生大的沟道效应,使结深加大. 还有,  $BF_2^+$  注入有较大的损伤效应等,所以对亚微米沟道器件所要求的  $0.2 \mu\text{m}$  以下的 P 型浅结,需要寻求更好的制备方法.

有人尝试用  $Si^+$  作预非晶注入<sup>[3]</sup>,然后再作低能  $B^+$  注入来制备浅结. 这种方法是有效的,但却需要附加的离子源气系统. 而且,若用  $^{28}\text{Si}^+$  注入,往往会由于源气的不纯和系统的轻微漏气而被  $^{28}\text{N}_2^+$  所沾污,若用  $^{29}\text{Si}^+$  注入,则因  $^{29}\text{Si}$  同位素的丰度低 (4.7%),束流小,做高剂量的预非晶注入困难较大.

用隔着表面薄  $\text{SiO}_2$  注入来制备浅结,虽然能消除沟道效应,但往往有 O 的反冲注入,会产生很难消除的缺陷.

用靶片倾斜(或束倾斜)注入法<sup>[4]</sup>,结深约是垂直注入时结深乘以注入角的正弦,理论

上能获得任意浅结。但实际上倾角较大时会由于待注入窗口台阶的掩蔽而失效。解决的办法是转动靶片,但一般注入机难以实现。

本文中,我们将介绍用  $F^+$  作预注入的  $0.2\mu\text{m}$  P 型浅结研究,并与对应能量下的  $B^+$  和  $BF_2^+$  注入结相比较,得到了一些有实用价值的结果。

## 2 实验

用  $5\sim 6\Omega\cdot\text{cm}$  的  $N\langle 100\rangle\text{Si}$  片,作  $7^\circ$  角的  $B^+$ 、 $BF_2^+$  和  $F^+ + B^+$  双注入,具体条件见表 1。每种样品的一部分在注入后经  $1100^\circ\text{C}$ , 10 秒钟的瞬时快速热退火 (RTA), 然后进行自动扩展电阻测试 (ASR)。另一部分未做退火处理的样品与部分已退火样品一起,进行卢瑟福背散射和沟道分析 (RBS/C), 以了解注入对衬底晶体的损伤及退火后损伤的恢复情况。我们还用表 1 中的 B,  $F + B - 1$  和  $BF_2$  三种注入条件,对同一衬底圆片上经光刻形成的  $2\times 2\text{mm}^2$  窗口作分区注入,形成大面积的 p-n 结,比较了这三种注入样品的结漏电和反向击穿电压。

表 1 样品注入条件

样品标号	注入离子	能量 (keV)	束流 ( $\mu\text{A}$ )	剂量 ( $\text{cm}^{-2}$ )
B	$B^+$	15	35	$2\times 10^{15}$
$F + B - 1$	$F^+$ $B^+$	60 15	60 35	$1\times 10^{15}$ $2\times 10^{15}$
$F + B - 2$	$F^+$ $B^+$	60 15	60 35	$2\times 10^{15}$ $2\times 10^{15}$
$F + B - 3$	$F^+$ $B^+$	80 15	60 35	$1\times 10^{15}$ $2\times 10^{15}$
$BF_2$	$BF_2^+$	66.8	60	$2\times 10^{15}$

## 3 结果

B、 $BF_2$  和  $F + B - 1$  样品经  $1100^\circ\text{C}$ , 10 秒 RTA 后的载流子分布结果比较和图 1 所示;  $F + B - 1$ ,  $F + B - 2$ ,  $F + B - 3$  样品经 RTA 后的载流子分布和图 2 所示; B、 $BF_2$ 、 $F + B - 1$  样品注入后未退火和  $BF_2$  样品退火后的 RBS/C 结果如图 3 所示。

实验样品的结深、漏电、反向击穿和样品退火前后 RBS/C 产额谱的近表面(表面内 10 道)退道( $\chi$ )值列于表 2。

需要指出的是,表 2 中列出的样品结漏电是用晶体管特性测试仪 (JT) 在反向电压为 30V 时测得的。在反向电压小于 10V 时,用  $1\mu\text{A}$  档很难比较三种样品反向结漏电的大小(漏电都小于  $0.1\mu\text{A}$ ),随着反向电压的升高,漏电流逐步加大, B,  $F + B - 1$  样品的漏电流较快地趋于稳定,  $BF_2$  样品的漏电流趋于饱和需要较长时间,但三种样品的击穿电压都是稳定的。

表 2 样品结特性和近表面退道值比较

标 号	结深 ( $\mu\text{m}$ )	漏电 ( $\text{A}/\mu\text{m}^2$ )	击穿电压 (V)	退道 $\chi$ (%)	
				退火前	退火后
B	0.26	$5 \times 10^{-13}$	35	7.3	4.9
F + B - 1	0.20	$5 \times 10^{-13}$	35	9.7	
F + B - 2	0.20			11.6	
F + B - 3	0.21			9.4	11.7
$\text{BF}_2$	0.33	$1.1 \times 10^{-12}$	37	49.2	

注: 测得未注入区单晶 Si 的  $\chi_{\min} = 4.7\%$ , 结漏电测试电压为 30V.

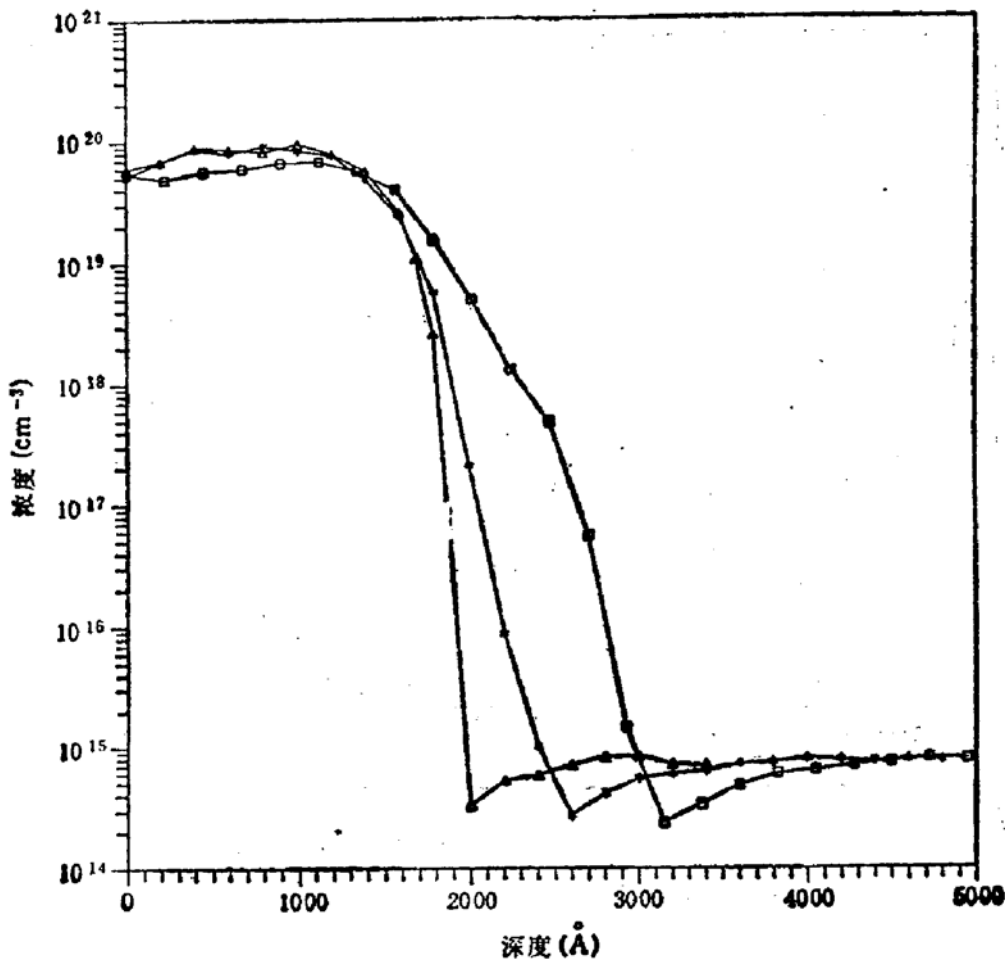


图 1 三种样品退火后的载流子分布

$\Delta$  F+B-1    \* B     $\square$   $\text{BF}_2$

## 4 讨论

1. 由图 1 可见,  $\text{F}^+ + \text{B}^+$  双注入样品的结最浅, 最陡直,  $\text{B}^+$  注入样品次之, 对应能量的  $\text{BF}_2^+$  注入的结最深, 且分布曲线后部有起伏. 这是由于低能  $\text{B}^+$  注入时有较强的沟道效应, 使注入退火后的载流子分布有较长的拖尾, 加大了结的深度. 而  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$  的  $\text{F}^+$  预注入有效地抑制了  $15\text{keV}$   $\text{B}^+$  注入的沟道效应, 使得结最浅且陡直. 与  $15\text{keV}$  的  $\text{B}^+$  注入能量对应的  $66.8\text{keV}$  的  $\text{BF}_2^+$  注入, 之所以有最大的结深, 原因可能有三: 首先

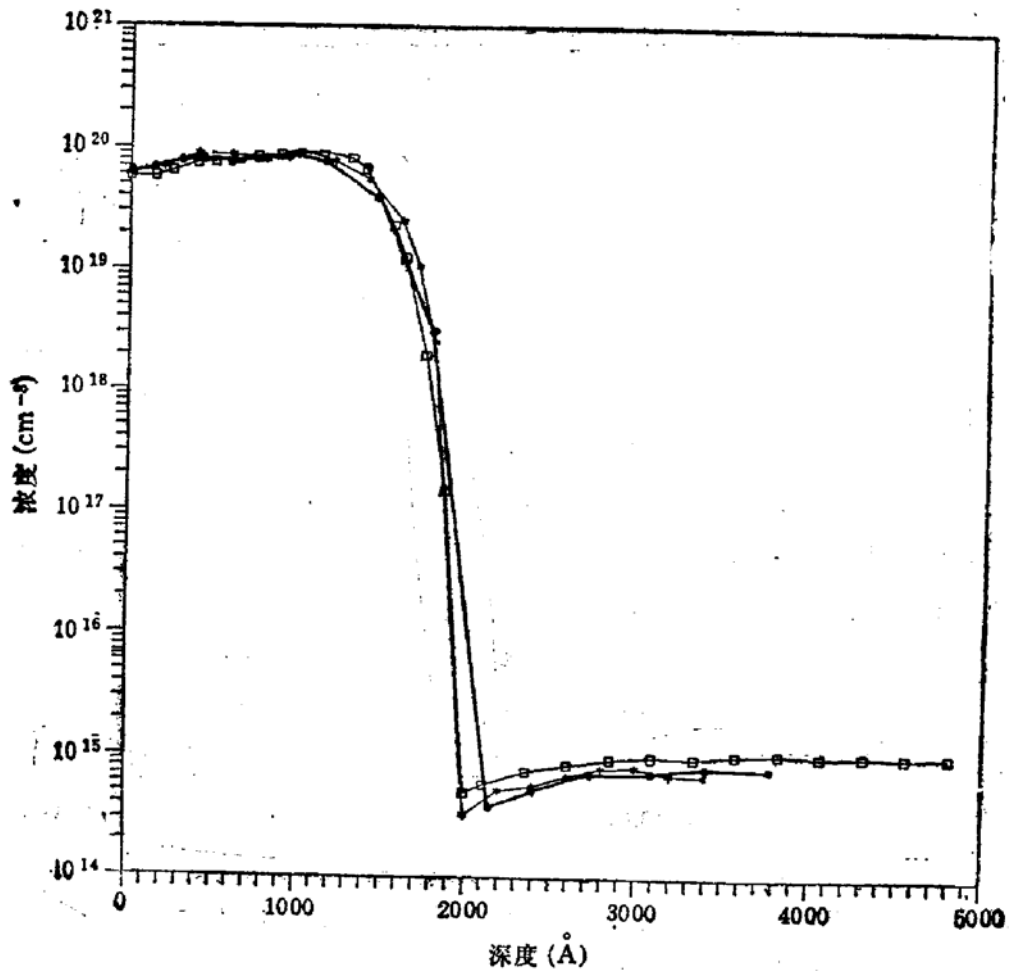


图2  $F^+ + B^+$  双注入样品退火后的载流子分布  
\* F+B-1    □ F+B-2    ● F+B-3

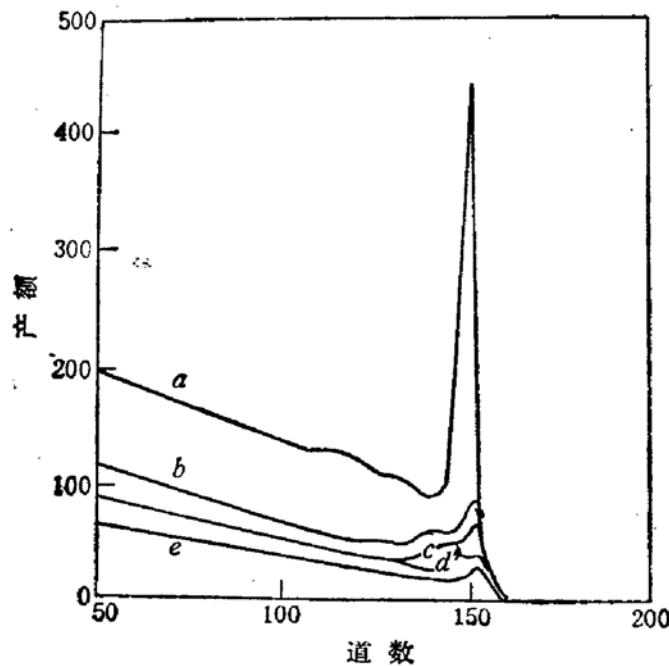


图3  $B$ 、 $BF_2$ 、 $F + B - 1$  未退火样品和  $BF_2$  退火后样品的 RBS/C 产额谱  
a  $BF_2$  未退火  $\chi = 49.2\%$     b  $BF_2$  退火后  $\chi = 11.7\%$     c  $F + B - 1$  未退火  $\chi = 9.7\%$   
d  $B$  未退火  $\chi = 7.3\%$     e 未注入单晶  $Si$   $\chi = 4.7\%$

是由于无预注入,  $BF_2^+$  离子在注入表面碰撞解体后,  $B$  按质量比分配得到  $15keV$  的能量<sup>[9]</sup>, 在  $BF_2^+$  注入的初期, 它的注入行为类似于低能  $B^+$  注入, 仍有较强的沟道效应。其

次,由于  $\text{BF}_2^+$  在传输过程中的分解,使得注入未被沾污<sup>[2]</sup>。这种分解和沾污虽然理论上在任何区段都会发生,但实际上,沾污最强、影响最大的是在分析后至加速前的较长低真空区段(当能量低于 80keV 时,DF<sub>1</sub> 机的加速管被短路棒大部分短路),从而使得在 66.8 keV 的  $\text{BF}_2^+$  束中有较强的 57.1keV 的  $\text{BF}^+$  和 47.4keV 的  $\text{B}^+$  沾污束(吸极电压为 25kV)。正如文献[2]中的分析,沾污成分的高低虽随着注入机真空度的高低和离子源工作状态的改变而有所差别,但这种沾污总存在。它们,特别是  $\text{B}^+$  沾污束,造成了  $\text{BF}_2^+$  注入时结深的明显增加和载流子分布曲线后部的起伏。最后,  $\text{BF}_2^+$  注入时,对衬底有较强的损伤。退火过程中伴随有载流子的增强扩散。

2. 从图 3 可见,  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ , 60keV 的 F 预注入加  $2 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ , 15keV 的  $\text{B}^+$  注入,只使退道  $\chi$  达到 9.7%。这表明, F 的预注入远没有使 Si 单晶达到非晶状态,而图 1 的结果却显示,这种预注入已能充分抑制低能  $\text{B}^+$  注入的沟道效应。其机理似乎可以这样解释: 由于 F 的质量比 Si 小得多,它注入时与衬底原子的作用有相当大的电子阻止成分,产生的缺陷密度较低,很难由缺陷直接集成损伤区<sup>[1]</sup>。因此, F 注入产生的位移原子,会有相当大的比例停留在晶格间隙中。这些间隙原子的存在,使得注入的  $\text{B}^+$  在沟道内的散射剧增。如果这高密度的间隙原子区达到一定宽度,这种沟道散射就能使  $\text{B}^+$  注入的沟道效应被充分抑制。因此,并非必需由预注入使衬底近表面区完全非晶化,才能有效地抑制低能  $\text{B}^+$  注入的沟道效应。

预注入的剂量和能量,主要地决定了间隙原子的数量和分布。我们曾试图以经 Sigmond 修正了的 Kinchin 和 Pease 公式<sup>[3]</sup>来估算 F 预注入产生的位移原子总数,但它比根据背散射沟道产额谱计算位移原子密度公式<sup>[4]</sup>的计算结果高一个多数量级(原因可能是前者未考虑定位和位移原子的复合)。所以要确定预注入剂量和能量的最佳值,尚需作进一步的研究。不过本实验提供了一些基本信息。即,为了抑制 15keV 的  $\text{B}^+$  注入的沟道效应,  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$  的 F 预注入剂量是充分的, 60keV 的能量也是合适的(图 2)。

3. 由于  $\text{BF}_2^+$  分子注入的损伤增强效应<sup>[7]</sup>, 66.8keV,  $2 \times 10^{15}/\text{cm}^2$  的  $\text{BF}_2^+$  注入造成的损伤远高于  $\text{F}^+ + \text{B}^+$  双注入样品,  $\chi$  达 49.2%。这说明,注入区虽然还没有达到非晶状态,但已有比较严重的表面损伤和体内损伤(图 3, 曲线 a)。这种损伤的恢复,其退火要求会高于非晶化和轻损伤的退火要求。所以在 1100°C, 10 秒的 RTA 后,注  $\text{BF}_2^+$  样品的损伤仍然较大 ( $\chi = 11.7\%$ ), 高于  $\text{F} + \text{B} - 1$  样品未退火时的损伤。它的完全恢复,需要更长的退火时间或更高的退火温度。对于 0.2 $\mu\text{m}$  以内的浅结,  $2 \times 10^{15}/\text{cm}^2$  的注入剂量,其掺杂浓度已达到或超过 B 在 Si 中的固溶度。所以用  $\text{BF}_2^+$  注入,不可能再提高剂量使注入区非晶化来改善其退火性能。相比而言,  $\text{F}^+ + \text{B}^+$  注入就避免了这一点。  $\text{F} + \text{B} - 1$  样品在 1100°C, 10 秒 RTA 后,其退道已非常接近未注入的单晶 Si 的退道。说明注入损伤已几乎完全恢复。

4. 在这次实验中,  $\text{BF}_2^+$  注入时没有加束过滤器。正如在文献[2]中的分析, 47.4keV 的  $\text{B}^+$  沾污束会使结深明显加大。如果加了束过滤器,这一成分能被消除。  $\text{BF}^+$  束虽不能被消除,但它对结深的影响不大。所以,可以看出,如果在  $\text{F}^+$  预注入后,注入经过过滤的  $\text{BF}_2^+$  束,那么,  $\text{BF}_2^+$  注入初期与表面碰撞解体后的低能 B 成分的沟道效应应当能被有效抑制。这种双注入制备浅结的好处是  $\text{BF}_2^+$  中 B 成分的有效能量较低,不必要象  $\text{F}^+$

$+ B^+$  注入那样用减速方式获得低于吸极能量的  $B^+$  注入。至于结特性, 似乎差别主要在漏电, 在器件允许的情况下,  $F^+ + BF_2^+$  过滤束双注入仍然有较大应用价值。

5.  $BF_2$  样品比  $F + B - 1$  样品的击穿稍高, 可能是由于  $BF_2^+$  样品的结比  $F + B - 1$  样品的结深, 而  $BF_2^+$  注入的反向饱和电流(漏电)较大, 可能与  $BF_2^+$  注入形成的损伤特别是体内损伤未能被退火完全消除有关。

## 5 结论

低能时, 用  $F^+ + B^+$  双注入获得的结比对应能量和剂量下  $B^+$  和  $BF_2^+$  注入的结要浅得多。这是由于  $F^+$  预注入在衬底单晶中产生了高浓度的间隙原子区, 从而使低能  $B^+$  注入的沟道效应被有效抑制。用  $F^+ + B^+$  双注入制备浅结, 造成的损伤小, 退火容易、结特性好, 且不要求注入机增加附加的气源系统, 是一种制备 P 型浅结的有效方法。

## 参 考 文 献

- [1] 罗晋生, 离子注入物理, 上海科技出版社, 1984, 31.
- [2] 李金华, 邹世昌, 半导体学报, 1990, 11(4): 294.
- [3] M. E. Lunnion and J. T. Chen, J. Electrochem. Soc. Solid State Sci. and Technol., 1985, 162 (10): 2473.
- [4] S. M. Sze, VLSI Technol. Second Edition, Mcgrow-Hill Book Company, 1988, 363.
- [5] P. Sigmund, Appl. Phys. Letters, 1969, 14: 114.
- [6] W. K. Chu and J. W. Mayer, Backscattering Spectrometry, New York: Academic Press, 1978.
- [7] Lin Chenglu, Li Jinhua *et al.*, Semicond. Sci. Technol., 1992, 7: 632.

## Study of Shallow Junction Formed by $F^+ + B^+$ Double Implantation

Li Jinhua<sup>a</sup>, Lin Chenglu<sup>b</sup>, Mao Jianjun<sup>c</sup>, He Jianjun<sup>c</sup> and Zou Shichang<sup>b</sup>

(*a Physics section, Jiangsu Institute of Petrochemical Technology, Changzhou 213016*)

(*b Ion Beam Lab., Shanghai Institute of Metallurgy, The Chinese Academy of Sciences,  
Shanghai 200050*)

(*c Changzhou Semiconductor Factory, Changzhou 213001*)

**Abstract** The samples implanted with  $F^+ + B^+$ ,  $B^+$  and  $BF_2^+$  ions in different conditions were annealed by RTA at  $1100^\circ\text{C}$  for 10 sec. The carrier concentrations and junction depths were compared by Automatic Spreading Resistent Measurements. The results show that the channelling effect of boron implantation with a energy of 15keV was effectively suppressed by a fluorine pre-implantation with a dose of  $1E15/\text{cm}^2$  and a energy of 60keV, and an abrupt shallow junction with a depth of  $0.2\mu\text{m}$  was presented. The leakage current of the junction formed by  $F^+ + B^+$  double implantation is just as small as one of the junction formed by boron implantation, and smaller than the leakage of the junction formed by  $BF_2^+$  implantation with corresponding energy. The samples were analysed by Rutherford backscattering and channelling, and it is found that the channelling effect of boron implantation with low energy can be successfully suppressed when the density of the displacement atoms created by pre-implantation in the region of substrate surface is high enough. This suppression does not require the substrate to be an amorphous state by pre-implantation.

**EEACC:** 6170F, 2530B