

氮氟复合注入对注氧隔离 SOI 材料埋氧层内 固定正电荷密度的影响

张百强¹⁾ 郑中山²⁾ 于芳²⁾ 宁瑾³⁾ 唐海马¹⁾ 杨志安^{1)†}

1) (济南大学物理科学与技术学院, 济南 250022)

2) (中国科学院微电子研究所, 北京 100029)

3) (中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

(2013 年 1 月 11 日收到; 2013 年 2 月 21 日收到修改稿)

为了抑制埋层注氮导致的埋层内正电荷密度的上升, 本文采用氮氟复合注入方式, 向先行注氮的埋层进行了注氮之后的氟离子注入, 并经适当的退火, 对埋层进行改性. 利用高频电容-电压 (C-V) 表征技术, 对复合注入后的埋层进行了正电荷密度的表征. 结果表明, 在大多数情况下, 氮氟复合注入能够有效地降低注氮埋层内的正电荷密度, 且其降低的程度与注氮后的退火时间密切相关. 分析认为, 注氟导致注氮埋层内的正电荷密度降低的原因是在埋层中引入了与氟相关的电子陷阱. 另外, 实验还观察到, 在个别情况下, 氮氟复合注入引起了埋层内正电荷密度的进一步上升. 结合测量结果, 讨论分析了该现象产生的原因.

关键词: 绝缘体上硅 (SOI) 材料, 注氮, 注氟, 埋氧层正电荷密度

PACS: 73.40.Qv, 61.72.U-

DOI: 10.7498/aps.62.117303

1 引言

SOI 即绝缘体上的硅材料. 基于 SOI 技术的集成电路因具有功耗低、速度快、寄生电容小、集成密度高等优点而得到迅速发展和日益广泛的应用. SOI 电路的优势来源于 SOI 材料绝缘埋层 (一般为 SiO_2) 将顶层器件与衬底完全隔离的独特结构. 特别, 埋层的存在减小了器件的结区面积, 增强了存储电路单元抗单粒子事件翻转 (SEU) 的能力^[1,2], 使 SOI 成为制作抗 SEU 电路的首选材料.

虽然埋层的存在为 SOI 器件及电路带来诸多的优势, 却也增加了器件及电路抗总剂量辐射加固的复杂性. 在 SOI 场效应晶体管 (MOSFET) 中, 因埋层的存在而引入了一个寄生背沟道. 在辐射环境下, 寄生背沟道因埋层辐射损伤而开启是 SOI 电路泄漏电流增大的主要原因之一^[3,4]. 目前, SOI 器件及电路可通过全耗尽 (FD) SOI 工艺或部分耗尽

(PD) SOI 工艺来实现. 二者相比, FD SOI 器件及电路具有更为优异的电学性能和更为出色的抗 SEU 能力. 但对 FD SOI MOSFET 来讲, 除寄生背沟道的影响外, 还存在辐射引起的背栅晶体管阈值电压的漂移对前栅晶体管阈值电压的影响问题. 对于目前阈值电压较低的超深亚微米 SOI MOSFET 来说, 较小的阈值电压漂移就可能引起器件及电路泄漏电流的较大增长. 因此, 这一前栅与背栅晶体管的耦合问题尤其值得关注. 为了抑制辐射环境下背栅晶体管阈值电压的漂移, 同时避免寄生背沟道的开启, 就必须对使用的 SOI 材料进行针对埋层的抗总剂量辐射加固.

一种常用而有效的埋层加固方法是将一定剂量的掺杂剂以离子注入方式注入到埋层中, 通过对埋层进行改性, 来提高埋层的抗总剂量辐射能力. 近来研究报道的作为掺杂剂的元素种类有 Si, N, F 等, 并在一定条件下取得了较好的加固效果^[5-10]. 然而, 在向埋层进行离子注入的同时, 必

† 通讯作者. E-mail: zszheng513@163.com

然会引起埋层内微观结构的改变. 这些改变在提高埋层抗总剂量辐射能力的同时, 可能也会引起埋层本身电学性质的较大变化, 且有些变化可能会对器件的电学特性造成直接的影响. 因此, 在以离子注入方式对埋层进行掺杂改性的同时, 应对那些因注入掺杂而引起的能够直接影响器件电学特性的埋层本身电学性质的变化进行研究, 以避免器件性能的退化.

通过向硅材料注氧, 然后高温退火, 并在硅片内注氧区形成二氧化硅层后即可得到注氧隔离 (SIMOX) SOI 材料. 其中的二氧化硅层称为埋氧 (BOX) 层. 我们前期的实验研究结果已证实, 对 SIMOX 材料 BOX 层的较高剂量注氮可引起 BOX 层内正电荷密度的明显增加 [11]. 对此埋层性质的改变, 需要注意的是, 如果埋层内的正电荷密度足够高, 将导致 SOI n 沟道器件中背界面的反型, 从而引起器件泄露电流的增加及电路静态功耗的上升. 因此, 在对 BOX 层进行注氮改性的同时, 控制 BOX 内正电荷密度的上升是非常必要的. 为了探索抑制注氮 BOX 内正电荷密度上升的方法, 本研究工作采用 BOX 注氮后, 再向注氮 BOX 进行注氟的复合注入方式, 对 SIMOX 材料的埋层进行改性, 并采用电容-电压 (C-V) 技术对改性后的 BOX 进行电荷密度的表征, 以确定复合注入后 BOX 层内电荷密度的变化. 另外, 已证实在氧化层内引入适量的氟可降低氧化层本身对总剂量辐射的敏感性. 所以, 对 BOX 的氮氟复合注入有可能进一步提高 BOX 的抗辐射能力. 为此, 本文的工作专注于研究氮氟复合注入对 SIMOX 材料 BOX 层内电荷密度的影响, 研究结果可同时为 BOX 的氮氟复合注入抗辐射加固提供初始的可行性参考.

2 表征技术与原理

本文利用基于金属-氧化物-半导体 (MOS) 理论的电容-电压 (C-V) 技术对 BOX 层的电荷密度进行表征. 相对于传统的 MOS 电容, 在去除 SIMOX 材料的顶层硅膜后, 本研究工作中用多晶硅栅电极代替了金属铝电极, 同时 BOX 层也作为电容结构中的绝缘介质层代替了热生长的 SiO₂ 层, 从而构成了类 MOS 结构的多晶硅-BOX-衬底硅 (PBS) 电容, 如图 1 所示. 显然, 两类电容本质上是完全等同的. 根据 MOS 电容 C-V 理论, 对于一个 PBS 电容,

其高频平带电容 C_{FB} 可以表示为

$$C_{FB} = \frac{C_{BOX}C_{sFB}}{C_{BOX} + C_{sFB}}, \quad (1)$$

式中, C_{BOX} 为 BOX 对应的绝缘层电容, C_{sFB} 为硅衬底的高频平带电容, 且有

$$C_{sFB} = S \left(\frac{\epsilon_0 \epsilon_s N q^2}{kT} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

式中, S 为栅电极面积, ϵ_0 与 ϵ_s 分别为真空电容率和硅材料的相对电容率, N 为掺杂浓度, q 为基本电荷量, k 为玻尔兹曼常数, T 为温度. 另外, 在高频条件下的 PBS 电容最大值 C_{BOX} 及最小值 C_{min} 之间, 存在如下关系:

$$\frac{N}{\ln \left(\frac{N}{n_i} \right)} = \frac{\left(\frac{C_{BOX}C_{min}}{C_{BOX} - C_{min}} \right)^2 4kT}{\epsilon_s q^2 S^2}, \quad (3)$$

式中, n_i 为硅的本征载流子浓度. 据上式, 可求出掺杂浓度 N . 在已知 N 的情况下, 利用 (1), (2) 式便可得到对应的 PBS 电容结构的平带电容值 C_{FB} . 在已知 C_{FB} 的情况下, 根据实验中测得的该 PBS 电容的 C-V 特性曲线可得到其对应的平带电压 V_{FB} . 虽然埋层中的电荷与界面陷阱电荷皆可引起 V_{FB} 的漂移, 但通常情况下, 埋层中的等效电荷密度远高于界面陷阱电荷密度. 因此, V_{FB} 的漂移主要是由埋层中的电荷引起. 于是, 埋层在经离子注入改性前后, 其等效电荷密度的改变量 ΔN_{eff} 可近似表示为

$$\Delta N_{eff} \approx - \frac{\Delta V_{FB} C_{BOX}}{qS}, \quad (4)$$

式中, ΔV_{FB} 为埋层改性前后所对应 PBS 电容的平带电压漂移量. 所以, 通过对埋层改性前后 PBS 电容高频 C-V 特性的测量, 并得到对应的 V_{FB} 漂移量之后, 即可根据上式对埋层中电荷密度的变化情况进行定量表征.

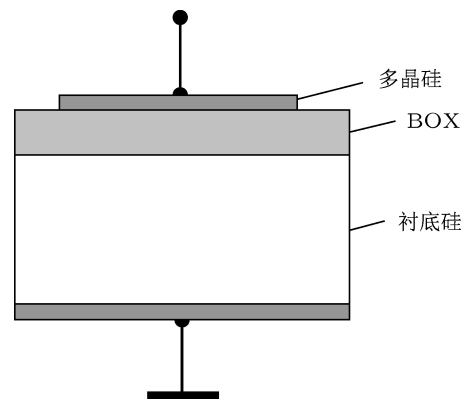


图 1 PBS 电容结构示意图

3 实验步骤与过程

实验研究用的 SIMOX SOI 材料是采用中等注氧剂量制备的标准商用 SOI 圆片. 该材料的 BOX 层厚度为 150 nm, 顶层硅膜是厚度为 190 nm 的 (100) 晶向的 p 型硅, 其电阻率在 10—20 $\Omega \cdot \text{cm}$ 之间. 选用的同批次的 5 片样品材料分别标记为 D0, D1, D2, D3, D4. 实验过程中, 首先以 90 keV 的注入能量向 D1—D4 样品材料的 BOX 层注入 10^{16} cm^{-2} 剂量的氮离子. 注氮期间的衬底温度保持在 300 °C. 注氮完毕后, 紧接着进行 1100 °C 的高温退火, 退火气氛为氮气. 退火过程中, 对不同的样品材料, 选用了不同的退火时间. 对 D1, D2, D3, D4 样品的退火时间分别为 0.0 h, 0.5 h, 1.0 h, 1.5 h. 然后, 将注氮的 D1—D4 样品进行划片, 分别取其一半进行注氮之后的氟离子注入. 注氟之前, 使用 SRIM 软件对注入过程进行了模拟. 根据模拟结果, 实际注氟过程中采用的注入能量为 120 keV, 注入剂量为 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$. 注氟期间的衬底温度为室温. 注氟后的退火温度为 900 °C, 退火时间为 2 h, 退火气氛为氮气. 经上述过程后, 便得到了分别含有注氮 BOX 与氮氟复合注入 BOX 的两类 SOI 样品材料, 以对照研究注氟对注氮 BOX 内的电荷密度的影响. 另外, D0 作为对照样品, 其 BOX 未进行任何注入掺杂改性处理.

为能够使用 C-V 技术对 SOI 样品材料进行与 BOX 相关的电学特性表征, 首先采用化学腐蚀方法去除样品材料的顶层硅膜, 然后再使用多晶硅栅淀积工艺, 分别在对照样品、注氮及氮氟复合注入的 BOX 层上制备多晶硅电极, 构成 PBS 电容结构.

随后, 使用半导体 C-V 特性分析仪在室温下对电容样品进行了频率为 1 MHz 的高频 C-V 特性测量. 为便于比较与分析, 在 D0—D4 上制备的电容样品分别标示为 PBS/D0—PBS/D4. 其中, PBS/D1—PBS/D4 分别各自包括了 BOX 注氮与 BOX 氮氟复合注入的两类电容样品. 为后面讨论问题的方便, 两类电容样品分别进一步表示为 PBS/Di(N) 和 PBS/Di(N&F) ($i = 1, 2, 3, 4$).

4 实验测量与结果

通过对制备的 PBS/D1—PBS/D4 电容样品进行高频 C-V 特性测量, 所得到的样品的平带电压值见表 1. 表中给出的所有平带电压均为同片样品不同位置的三个电容所对应的平带电压的平均值, 且同片样品上不同位置的电容的 C-V 特性表现出良好的一致性. 表 1 中, $V_{\text{FB}}(\text{N})$ 与 $V_{\text{FB}}(\text{N}\&\text{F})$ 分别表示 BOX 注氮与 BOX 氮氟复合注入后所对应电容样品的平带电压. ΔV_{FB} 则表示 $V_{\text{FB}}(\text{N}\&\text{F})$ 相对于 $V_{\text{FB}}(\text{N})$ 的增量, 即 $V_{\text{FB}}(\text{N}\&\text{F}) - V_{\text{FB}}(\text{N})$. 因平带电压本身为负值, 所以 $\Delta V_{\text{FB}} > 0$ 表示平带电压绝对值的减少. 同时, 依据 (4) 式, 对注氮 BOX 在注氟后发生的等效电荷密度的变化 (ΔN_{eff}) 进行了计算, 其结果也一并在表 1 中列出 ($\Delta N_{\text{eff}} < 0$ 表示电荷密度下降). 另外, 测量发现, 表中未予列出的对照电容 PBS/D0 具有很小的平带电压, 其绝对值平均小于 0.1 V. 为便于对测量结果直观地分析与比较, 图 2 至图 5 分别给出了电容 PBS/D1—PBS/D4 在 BOX 注氮及氮氟复合注入前后的典型 C-V 特性曲线 (图中 V_{G} 表示栅压).

表 1 电容 PBS/D1—PBS/D4 的 $V_{\text{FB}}(\text{N})$ 与 $V_{\text{FB}}(\text{N}\&\text{F})$ 及所对应 BOX 中的等效电荷密度变化

电容样品	注 N 剂量 / 10^{16} cm^{-2}	退火时间 / h	$V_{\text{FB}}(\text{N})/\text{V}$	注 F 剂量 / 10^{15} cm^{-2}	退火时间 / h	$V_{\text{FB}}(\text{N}\&\text{F})/\text{V}$	$\Delta V_{\text{FB}}/\text{V}$	$\Delta N_{\text{eff}}/10^{11} \text{ cm}^{-2}$
PBS/D1	1.0	0.0	-8.92	5.0	2.0	-2.01	6.91	-4.76
PBS/D2	1.0	0.5	-11.45	5.0	2.0	-9.62	1.83	-1.26
PBS/D3	1.0	1.0	-9.68	5.0	2.0	-6.03	3.65	-2.51
PBS/D4	1.0	1.5	-10.2	5.0	2.0	-11.25	-1.05	0.72

已经知道, 对 BOX 的高剂量注氮可导致 BOX 内正电荷密度的显著增加. 由表 1 给出的数据也可清楚地看到这一点. 相对于未注氮的原始 BOX 所对应的 PBS/D0 电容的平带电压绝对值平均 $< 0.1 \text{ V}$ 的情况, 经过 10^{16} cm^{-2} 剂量的氮离子注入后, 其所对应的 PBS/D1(N)—PBS/D4(N) 电容

的平带电压绝对值 $|V_{\text{FB}}(\text{N})|$ 迅速增加了两个数量级. 这意味着与平带电压成正比的正电荷密度也将会有两个数量级的增加. 然而, 当对注氮的 D1—D4 样品材料再次进行注氟后, 情况则发生了很大变化. 由表 1 给出的测量结果可以看到, PBS/D1(N&F)—PBS/D3(N&F) 电容的平带电压绝对值 $|V_{\text{FB}}(\text{N}\&\text{F})|$

均较注氟前的 $V_{FB}(N)$ 有了不同程度的减小,其中以 PBS/D1(N&F) 电容的减小幅度最大,也最为显著.其次是 PBS/D3(N&F),减小也非常明显.此意味着 D1—D3 在经氮氟复合注入后,原注氮 BOX 中的正电荷密度出现了不同程度的降低.但只有 D4 例外,其对应电容 PBS/D4(N&F) 的平带电压绝对值不降反增.说明其 BOX 内的正电荷密度有了进一步的增加.图 6 给出了 PBS/D1(N&F)—PBS/D4(N&F) 电容的典型 $C-V$ 特性曲线,以便于对氮氟复合注入后的样品之间进行直观的对照比较.

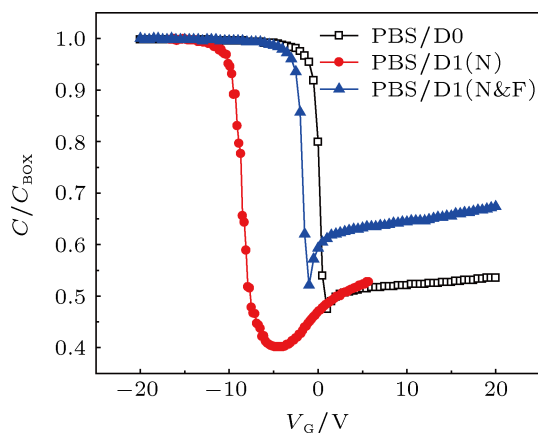


图 2 电容 PBS/D1(N&F) 与 PBS/D1(N) 的高频 $C-V$ 特性曲线

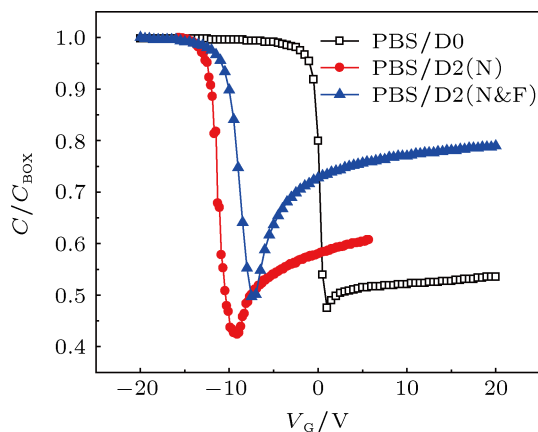


图 3 电容 PBS/D2(N&F) 与 PBS/D2(N) 的高频 $C-V$ 特性曲线

5 结果讨论与分析

如上所述,对 D1—D3 来讲,当对其已经注氮的 BOX 再次实施注氟后,减小了原注氮 BOX 中的正电荷密度.导致出现这一结果的最可能的原因是注氟在 BOX 中引入了与氟相关的电子陷阱.当这些电子陷阱因俘获电子而呈现负电性时,抵消了 BOX 中的部分正电荷,从而宏观上显示出 BOX 的正电

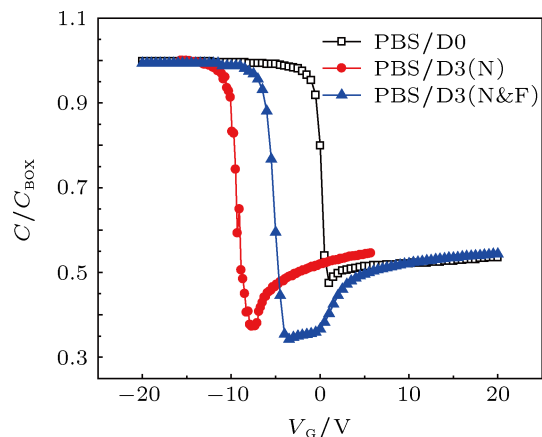


图 4 电容 PBS/D3(N&F) 与 PBS/D3(N) 的高频 $C-V$ 特性曲线

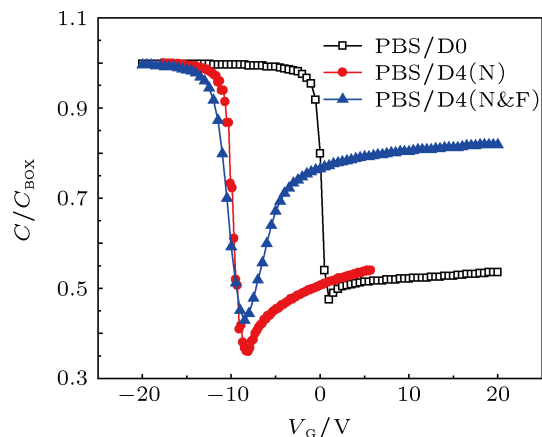


图 5 电容 PBS/D4(N&F) 与 PBS/D4(N) 的高频 $C-V$ 特性曲线

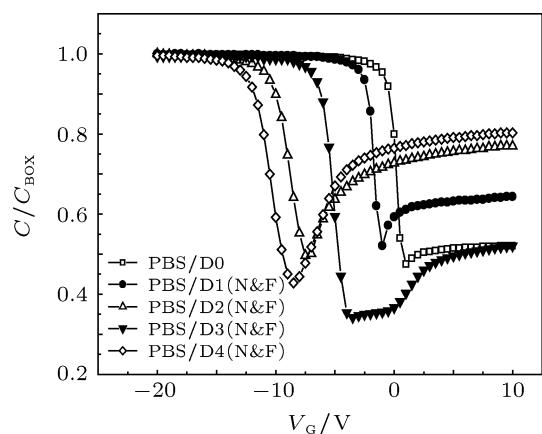


图 6 电容 PBS/D1(N&F)—PBS/D4(N&F) 的高频 $C-V$ 特性曲线

荷密度的降低,也可称为是 BOX 中的净正电荷密度的降低.在近年对超薄栅介质工艺的研究中,Satinder 等给出的实验结果是支持上述观点的^[12].他们在研究中发现,在制备超薄栅氧介质的过程中,如果在氧化前先对硅膜表层注入一定剂量的氟,那么,栅氧中的正电荷密度会降低.特别,当注氟剂量

较高时,甚至会出现栅氧中的电荷密度为负值的情况.显然,后者明确显示出栅氧中存在着与氟相关的电子陷阱.在我们的研究工作中,注氮 BOX 本身已经存在较高的正电荷密度,通过再次注氟来降低其中的正电荷密度.这其中的机理,显然不是通过注氟来抑制正电荷的产生,也不太可能是通过修补 BOX 中显示正电的结构缺陷来大量消除已存在的正电荷.在注氟剂量不是太高的情况下,相对于 BOX 中那些显示正电的结构缺陷,发生这种情况的概率或可能性应该是很小的.尽管形成 SIMOX SOI 材料 BOX 层的工艺与栅氧的制备工艺有所不同,但所得氧化层内部的基本微观结构应是相同的.因此,有理由认为,在 SIMOX SOI 材料的注氟 BOX 中,存在着与注氟栅氧中类似的有氟原子参与的受主型结构缺陷,即电子陷阱.当这些电子陷阱俘获电子后,补偿了 BOX 中的部分正电荷,降低了注氮 BOX 中的净正电荷数量.其中,一种可能的电子陷阱结构是氧化层中的桥键氧被氟原子所取代,从而在原桥键氧与硅原子的成键处留下了一个电子的空位,亦或,氟原子填补了氧化层中的氧空位,从而使原氧空位缺陷转化为一个受主型的电子陷阱.但究竟具体是何种结构,以及该结构的形成机制、俘获电子的能力、对应的能级等皆需进一步的研究确定.

另外,表 1 给出的数据还说明,BOX 注氮后的退火时间对随后注氟导致的 BOX 中正电荷密度的变化有显著影响.对于 D1—D4 样品, D1 的 BOX 在注氮后没有进行高温退火,但随后注氟引起的净正电荷密度下降幅度却是最大的.一个合理的解释是,注氮导致 BOX 内产生注入损伤,因没有进行高温退火处理,这些注入损伤在随后的注氟过程中仍然存留,从而使注入 BOX 中的氟更容易、同时也有更多的机会参与电子陷阱结构的形成.其结果便是注氮 BOX 中的正电荷被随后注氟形成的大量电子陷阱电荷所抵消,显示出净正电荷密度的大幅下降.按此,BOX 注氮后,在退火温度一定的情况下,退火时间越短,则注入损伤存留得越多,因而就越有利于随后注氟形成更多的电子陷阱,其净正电荷密度的下降也就应该越大.但从表 1 中看到, D2 与 D3 相比,虽然具有更短的注氮后退火时间,然而并没有表现出更大幅度的净正电荷密度的下降.如果考虑到 BOX 中的正电荷数量可能会因注氟后的退火进一步增加,则不难解释这一看似反常的现象.分析表明,BOX 中因注氮导致的正电荷的数量及分布

应该与其中的氮分布有关^[11].鉴于注氟后的退火将导致 BOX 中氮分布的变化,且注氟导致的注入损伤还可能进一步加剧这种变化,所以,注氟后的退火必将引起 BOX 中正电荷数量的改变.另一方面,氟原子半径较小,注入的氟的一部分会在 BOX 中以间隙原子的形式存在.若界面附件富硅区中的间隙氟原子促使更多的硅-硅应变键产生,则相应的会有更多的硅-硅应变弱键在某种诱因下(比如,注入的氮因退火而在其附近进一步积累时所产生的应力)发生断裂,并可能在断裂的同时释放出一个电子而显示正电,形成所谓的带正电的 E' 中心^[13,14],从而导致 BOX 中正电荷数量的增加.因此,尽管 D2-BOX 如上分析的那样可能含有更多的电子陷阱,但如果注氟后的退火导致其正电荷的增量高于 D3-BOX,且当二者的正电荷增量之差高于二者的电子陷阱电荷之差时, D2 就相对 D3 显示出了较少的净正电荷密度的下降.

比较图 3 与图 4, D2 与 D3 在注氟前后所对应的高频电容 $C-V$ 特性曲线的变化支持上述分析.图 3 中,在电容 $C-V$ 曲线迅速下降的区域范围内,注氟后的电容 PBS/D2(N&F) 的 $C-V$ 曲线相对于注氟前的 PBS/D2(N) 的曲线有较为明显的横向“倾斜”.说明注氟及随后的退火导致 D2-BOX 与硅衬底的界面处产生了较多的界面陷阱.图 7 示意地画出了当栅压 V_G 变化时因界面陷阱充放电所导致的高频 $C-V$ 曲线的“倾斜”形变现象.界面陷阱的增多,说明界面附近结构缺陷的增加及晶格畸变的增强,同时也间接反应出 D2-BOX 内部环境(注入杂质浓度分布、内应力等)发生了较大的变化.与图 3 相对照,图 4 中 PBS/D3(N&F) 的 $C-V$ 曲线相对于注氟前的 PBS/D3(N) 的曲线没有出现可观察的“倾斜”形变.在电容值迅速下降的区域范围内,曲线仅是发生了平移.说明界面陷阱并没有因注氟及随后的退火产生明显的增加.同时也意味着 D3-BOX 内部及界面附近环境也没有因注氟及退火产生较大的改变.如此,便从一个侧面对上述有关注氟退火后 D2 与 D3 的电荷密度变化问题的分析提供了实验上的支持.而由 D4 得到的其注氟前后所对应电容的测量结果则使上述分析得到了进一步的印证.由表 1 看到, D4 是唯一经注氟及随后的退火处理后 BOX 内的净正电荷密度出现进一步上升的样品材料.与 D4 相对应的图 5 显示,注氟后的电容 PBS/D4(N&F) 的 $C-V$ 曲线相对于注氟前的 PBS/D4(N) 的曲线发生了更为明显的“倾斜”形变,

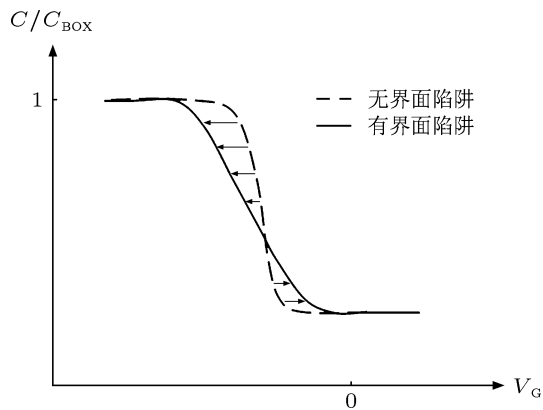


图7 PBS 电容界面陷阱导致其高频 $C-V$ 特性曲线出现“倾斜”形变的示意图

意味着更多界面陷阱的形成及界面附近与 BOX 内环境的更大变化. 当注氟及随后的退火致使 D4-BOX 内正电荷的增量超过因注氟引入的电子陷阱电荷量时, 便出现了 D4-BOX 的净正电荷密度因注氟而增加的现象. 与 D2 及 D4 形成鲜明对比的是, BOX 内净正电荷密度下降较大的 D1 及 D3, 其注

氟前后对应电容的 $C-V$ 曲线皆没有出现可观察的“倾斜”形变, 从而也从反面说明了上述分析与判断的合理性.

6 结论

实验结果表明, 在恰当的工艺条件下, 对 SIMOX SOI 材料的 BOX 进行氮氟复合注入可有效降低单独注氮而引起的 BOX 中较高的正电荷密度, 且降低的程度敏感地依赖于 BOX 注氮后的退火时间. 为此, 在采用较高注氮剂量对 SIMOX SOI 材料的 BOX 进行离子注入改性时, 可选取合适的工艺条件, 通过再次注氟来降低 BOX 中的正电荷密度. 分析认为, 相对于注氮 BOX, 氮氟复合注入 BOX 中的正电荷密度降低的原因是由于 BOX 中引入了与氟相关的电子陷阱. 因此, 与注氟相联合的 BOX 复合注入改性方式很可能也为其他种类离子注入时可能存在的 BOX 正电荷密度的上升问题提供了一个可供选择的解决方案与途径.

- [1] Mikawa R E, Ackerman M R 1987 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **34** 1698
- [2] Musseau O, Leray J L, Ferlet-Cavrois V 1994 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **41** 607
- [3] Schwank J R, Shaneyfelt M R, Dodd P E, Ferlet-Cavrois V, Loemker R A, Winokur P S, Fleetwood D M, Paillet P, Leray J L, Draper B L, Witzak S C, Riewe L C 2000 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **47** 2175
- [4] Mayer D C 1990 *IEEE Trans. Electron. Dev.* **37** 1280
- [5] Yang H, Zhang E X, Zhang Z X 2007 *Chin. J. Semi* **28** 323
- [6] Wu A M, Chen J, Zhang E X, Wang X, Zhang Z X 2008 *Semicond. Sci. Technol.* **23** 015015
- [7] Zhang S, Zhang Z X, Bi D W, Chen M, Tian H, Yu W J, Wang R, Liu Z L 2009 *J. Semicond.* **30** 093002
- [8] Bi D W, Zhang Z X, Zhang S, Chen M, Yu W J, Wang R, Tian H, Liu Z L 2009 *Chin. Phys. C* **33** 866
- [9] Zhang E X, Sun J Y, Chen J, Zhang Z X, Wang X 2005 *J. Elec. Mat.* **34** L53
- [10] Zheng Z S, Liu Z L, Yu F, Li N 2012 *Chin. Phys. B* **21** 106106
- [11] Tang H M, Zheng Z S, Zhang E X, Yu F 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 056104 (in Chinese) [唐海马, 郑中山, 张恩霞, 于芳 2011 物理学报 **60** 056104]
- [12] Satinder K S, Prasad B, Kumar D, Kumar R 2009 *Vacuum* **83** 1359
- [13] Lelis A J, Oldham T R, Boesch H E, Jr McLean F B 1989 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **36** 1808
- [14] Pantelides S T, Lu Z Y, Nicklaw C, Bakos T, Rashkeev S N, Fleetwood D M, Schrimpf R D 2008 *Journal of Non-Crystalline Solids* **354** 217

Effect of co-implantation of nitrogen and fluorine on the fixed positive charge density of the buried oxide layer in SIMOX SOI materials

Zhang Bai-Qiang¹⁾ Zheng Zhong-Shan²⁾ Yu Fang²⁾ Ning Jin³⁾
Tang Hai-Ma¹⁾ Yang Zhi-An^{1)†}

1) (*School of Physics and Technology, University of Jinan, Jinan 250022, China*)

2) (*Institute of Microelectronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*)

3) (*Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China*)

(Received 11 January 2013; revised manuscript received 21 February 2013)

Abstract

Nitrogen ions implanted into the buried oxide layer can increase the total dose radiation hardness of silicon on insulator (SOI) materials. However, the obvious increase in positive charge density in the buried layer with high dose of nitrogen implantation leads to a negative effect on the technology of nitrogen implantation into buried oxide. In order to suppress the increase in positive charge density in the nitrogen-implanted buried layer, co-implantation of nitrogen and fluorine is used to implant fluorine into the nitrogen-implanted buried layer. High-frequency voltage-capacitance ($C-V$) technique is used to characterize the positive charge density in the buried layer. Results show that, in most cases, using the co-implantation of nitrogen and fluorine can significantly reduce the positive charge density in the nitrogen-implanted buried layer. At the same time, it is also found that further increase of the positive charge density induced by fluorine implantation in the nitrogen-implanted buried layer can occur in particular cases. It is proposed that the decrease in the positive charge density in the fluorine and nitrogen-implanted buried layer is due to the introduction of electron traps into the buried layer through fluorine implantation.

Keywords: silicon on insulator (SOI), nitrogen implantation, fluorine implantation, positive charge density in buried oxide layer

PACS: 73.40.Qv, 61.72.U–

DOI: 10.7498/aps.62.117303

† Corresponding author. E-mail: zszheng513@163.com