



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108362965 B

(45)授权公告日 2020.06.09

(21)申请号 201810135822.9

(22)申请日 2018.02.09

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108362965 A

(43)申请公布日 2018.08.03

(73)专利权人 哈尔滨工业大学
地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西
大直街92号

(72)发明人 李兴冀 陈伟 杨剑群 刘超铭
郭晓强 王晨辉

(74)专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事
务所 23109
代理人 贾泽纯

(51)Int.Cl.
G01R 31/00(2006.01)
H01L 21/265(2006.01)

(56)对比文件

CN 102564931 A,2012.07.11,
CN 103887171 A,2014.06.25,
CN 103871873 A,2014.06.18,
CN 206271711 U,2017.06.20,
CN 1197282 A,1998.10.28,
CN 103887154 A,2014.06.25,
CN 104157659 A,2014.11.19,
JP 特开平5-198523 A,1993.08.06,
Li, Xingji等.Separation of Interface
Traps and Oxide...tors Based on
Experimental Observation.《IEEE
TRANSACTIONS ON DEVICE AND MATERIALS
RELIABILITY》.2015,第15卷(第2期),第258-260
页.

陈伟等.空间辐射物理及应用研究现状与挑战.《科学通报》.2016,第62卷(第10期),第978-989页.

审查员 彭璜

权利要求书2页 说明书5页 附图3页

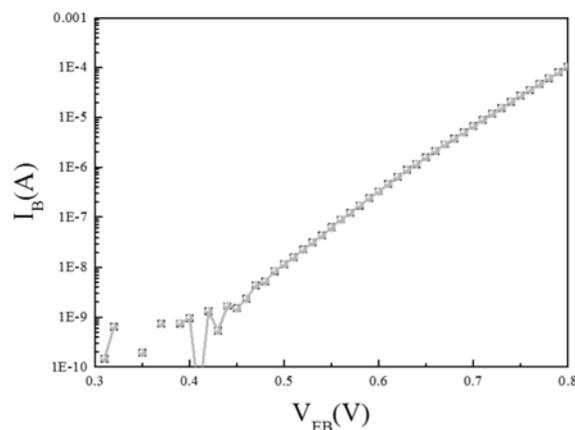
(54)发明名称

一种基于位移损伤抑制氧化物俘获电荷形成的方法

(57)摘要

一种基于位移损伤抑制氧化物俘获电荷形成的方法,本发明涉及空间环境效应、核科学与应用技术领域。本发明要解决氧化物俘获正电荷和界面态对电子器件辐射损伤性能的技术问题。方法:确定电子元器件中钝化层距表面最远距离b和最近距离c;计算预辐照入射粒子的射程 t_1 ;计算入射粒子在钝化层中电离吸收剂量 I_{d1} 和位移吸收剂量 D_{d1} ;计算 $\log[(I_{d1}+D_{d1})/D_{d1}]$ 值;进行预辐照,确定辐照注入量 Φ_1 ;计算电离辐照入射粒子入射深度 t_2 ;计算入射粒子在钝化层中的电离吸收剂量 I_{d2} 和位移吸收剂量 D_{d2} ;计算 $\log[(I_{d2}+D_{d2})/D_{d2}]$ 值;进行电离辐照。本发明改变试样中的固有位移缺陷状态,抑制氧化物俘获正电荷的形成,步骤简单,易于操作。本发明应用于电子元

器件空间环境效应研究与抗辐照加固技术中。



CN 108362965 B

1. 一种基于位移损伤抑制氧化物俘获电荷形成的方法,其特征在于该方法具体按以下步骤进行:

步骤一、确定电子元器件试样中钝化层距表面最远距离为 b ,电子元器件试样中钝化层距表面最近距离为 c ;

步骤二、选择预辐照入射粒子种类和预辐照入射粒子能量,通过Geant4软件,计算预辐照入射粒子在电子元器件试样中的入射深度 t_1 ;其中 $b > t_1 > c$;

步骤三、通过Geant4软件,根据步骤二中选择的预辐照入射粒子能量,计算单位注量的预辐照入射粒子在步骤一试样内的电离吸收剂量 I_{d1} 和位移吸收剂量 D_{d1} ;

步骤四、计算 $\log[(I_{d1}+D_{d1})/D_{d1}]$ 值,若 $\log[(I_{d1}+D_{d1})/D_{d1}] < 3$,则确定所选预辐照入射粒子种类和预辐照入射粒子能量,若 $\log[(I_{d1}+D_{d1})/D_{d1}] \geq 3$,则返回步骤二进行操作;

步骤五、选择步骤四确定的预辐照入射粒子种类和预辐照入射粒子能量,对步骤一所述试样进行预辐照,确定预辐照注入量 Φ_1 ,要求试样性能退化 $\leq 10\%$;

步骤六、选择电离辐照入射粒子种类和电离辐照入射粒子能量,通过Geant4软件,计算电离辐照入射粒子在步骤一试样中达到的入射深度 t_2 ;其中 $t_2 > 2b$;

步骤七、通过Geant4软件,根据步骤六中选择的电离辐照入射粒子能量,计算单位注量的电离辐照入射粒子在步骤一试样内的电离吸收剂量 I_{d2} 和位移吸收剂量 D_{d2} ;获得电离吸收剂量 I_{d2} 和位移吸收剂量 D_{d2} 在试样内部产生的损伤的不均匀度,若不均匀度都 $\geq 10\%$,则返回步骤六;若不均匀度都 $< 10\%$,则进行步骤八;

步骤八、计算 $\log[(I_{d2}+D_{d2})/D_{d2}]$ 值,若 $\log[(I_{d2}+D_{d2})/D_{d2}] \geq 3$,则确定所选电离辐照入射粒子种类和电离辐照入射粒子能量,若 $\log[(I_{d2}+D_{d2})/D_{d2}] < 3$,则返回步骤六进行操作;

步骤九、采用步骤八确定的电离辐照入射粒子种类和电离辐照入射粒子能量,对步骤五预辐照后的试样进行电离辐照,选择电离辐照注量 Φ_2 ,确保电离辐照注量的电离吸收剂量 $\varphi = I_{d2} \times \Phi_2 \geq 10 \text{ krad}$,即完成。

2. 根据权利要求1所述的一种基于位移损伤抑制氧化物俘获电荷形成的方法,其特征在于步骤一中电子元器件试样为采用 SiO_2 作为绝缘材料和钝化层的双极工艺电子元器件。

3. 根据权利要求1所述的一种基于位移损伤抑制氧化物俘获电荷形成的方法,其特征在于步骤二中选择预辐照入射粒子种类为电子、质子、重离子、中子、光子或介子。

4. 根据权利要求1所述的一种基于位移损伤抑制氧化物俘获电荷形成的方法,其特征在于步骤二中选择预辐照入射粒子为 10MeV 的硅离子。

5. 根据权利要求1所述的一种基于位移损伤抑制氧化物俘获电荷形成的方法,其特征在于步骤五中预辐照注入量 Φ_1 为 30krad 。

6. 根据权利要求1所述的一种基于位移损伤抑制氧化物俘获电荷形成的方法,其特征在于步骤五中预辐照在室温条件,环境为大气、真空或惰性气体下进行。

7. 根据权利要求1所述的一种基于位移损伤抑制氧化物俘获电荷形成的方法,其特征在于步骤六选择电离辐照入射粒子种类为电子、质子、重离子、中子、光子或介子。

8. 根据权利要求1所述的一种基于位移损伤抑制氧化物俘获电荷形成的方法,其特征在于步骤六选择电离辐照入射粒子为 Co-60 。

9. 根据权利要求1所述的一种基于位移损伤抑制氧化物俘获电荷形成的方法,其特征在于步骤九中对步骤五预辐照后的试样进行电离辐照在室温条件,环境为大气、真空或惰

性气体下进行。

一种基于位移损伤抑制氧化物俘获电荷形成的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电离辐射缺陷的形成及演化机制,属于空间环境效应、核科学与应用技术领域。

背景技术

[0002] 随着科技的发展,我国的航天事业发展取得了长足的进步,已经跻身航天强国行列,各式各样的航天器已经与我们的生活和安全息息相关。航天器用电子元器件在轨服役过程中必然会遭受宇宙空间环境的各种影响,这些影响因素包括太阳宇宙线粒子,银河宇宙线粒子及地球辐射带等辐射环境。电子元器件在航天器的电子控制系统和信息系统中起着至关重要的作用。空间的各种辐射环境会导致其性能退化、功能异常甚至失效。

[0003] 空间带电辐射粒子主要包括电子、质子及离子。这些带电粒子通过电离辐射效应、位移辐射效应及单粒子效应对电子元器件的性能造成影响。其中,电离效应是国际上研究的热点问题。对于采用SiO₂作为绝缘材料和钝化层的电子器件,在不同类型辐射粒子的作用下,会在氧化物层中产生电子-空穴对。由于电子在氧化物层中迁移速度大,可以快速地移出氧化物层;空穴在氧化物层中的迁移速率小,被氧化物层中缺陷俘获的概率大,会形成氧化物俘获正电荷。除此之外,空穴在氧化物层迁移过程中,会与含氢缺陷发生反应,释放氢离子。氢离子会逐渐输运到Si/SiO₂界面,与Si-H键发生反应,形成Si悬挂键,进而造成界面态缺陷。氧化物俘获电荷和界面态均会改变载流子的表面复合速率,进而影响少子寿命,导致电子器件的性能发生退化。

[0004] 通常,氧化物俘获正电荷和界面态同时会影响电子器件的性能和可靠性。因此,如果能够找到一种方式,抑制氧化物俘获正电荷的形成,对于分别研究氧化物俘获电荷和界面态的影响机制具有重要意义。特别是,对于实现空间综合环境与材料和器件作用基本理论和评价方法,揭示空间综合环境下材料和器件性能退化的基本规律与各种空间环境综合效应的物理本质,具有重要的工程价值和科学意义。

发明内容

[0005] 本发明是要解决目前氧化物俘获正电荷和界面态对电子器件辐射损伤性能的技术问题,而提供一种基于位移损伤抑制氧化物俘获电荷形成的方法。

[0006] 一种基于位移损伤抑制氧化物俘获电荷形成的方法,具体按以下步骤进行:

[0007] 步骤一、确定电子元器件试样中钝化层距表面最远距离为b,电子元器件试样中钝化层距表面最近距离为c;

[0008] 步骤二、选择预辐照入射粒子种类和预辐照入射粒子能量,通过Geant4软件,计算预辐照入射粒子在电子元器件试样中的入射深度 t_1 ;其中 $b > t_1 > c$;

[0009] 步骤三、通过Geant4软件,根据步骤二中选择的预辐照入射粒子能量,计算单位注量的预辐照入射粒子在步骤一试样内的电离吸收剂量 I_{d1} 和位移吸收剂量 D_{d1} ;

[0010] 步骤四、计算 $\log[(I_{d1}+D_d)/D_{d1}]$ 值,若 $\log[(I_{d1}+D_{d1})/D_{d1}] < 3$,则确定所选预辐照入

射粒子种类和预辐照入射粒子能量,若 $\log[(I_{d1}+D_{d1})/D_{d1}] \geq 3$,则返回步骤二进行操作;

[0011] 步骤五、选择步骤四确定的预辐照入射粒子种类和预辐照入射粒子能量,对步骤一所述试样进行预辐照,确定预辐照注入量 Φ_1 ,要求试样性能退化 $\leq 10\%$;

[0012] 步骤六、选择电离辐照入射粒子种类和电离辐照入射粒子能量,通过Geant4软件,计算电离辐照入射粒子在步骤一试样中达到的入射深度 t_2 ;其中 $t_2 > 2b$;

[0013] 步骤七、通过Geant4软件,根据步骤六中选择的电离辐照入射粒子能量,计算单位注量的电离辐照入射粒子在步骤一试样内的电离吸收剂量 I_{d2} 和位移吸收剂量 D_{d2} ;获得电离吸收剂量 I_{d2} 和位移吸收剂量 D_{d2} 在试样内部产生的损伤的不均匀度,若不均匀度都 $\geq 10\%$,则返回步骤六;若不均匀度都 $< 10\%$,则进行步骤八;

[0014] 步骤八、计算 $\log[(I_{d2}+D_{d2})/D_{d2}]$ 值,若 $\log[(I_{d2}+D_{d2})/D_{d2}] \geq 3$,则确定所选电离辐照入射粒子种类和电离辐照入射粒子能量,若 $\log[(I_{d2}+D_{d2})/D_{d2}] < 3$,则返回步骤六进行操作;

[0015] 步骤九、采用步骤八确定的电离辐照入射粒子种类和电离辐照入射粒子能量,对步骤五预辐照后的试样进行电离辐照,选择电离辐照注量 Φ_2 ,确保电离辐照注量的电离吸收剂量 $\varphi = I_{d2} \times \Phi_2 \geq 10 \text{ krad}$,即完成。

[0016] 本发明的有益效果是:

[0017] 本发明所涉及的一种抑制氧化物俘获正电荷形成的方法,其应用对象包括电子材料、电子器件及电子系统。该技术的特征在于,基于Monte Carlo计算方法,计算单位注量入射粒子的电离/位移吸收剂量和射程,根据电离和位移吸收剂量的比例关系,确定预辐照入射粒子的能量、辐照通量或剂量,进行预辐照;再计算后续电离辐照源单位注量入射粒子的电离/位移吸收剂量和射程,根据电离和位移吸收剂量的比例关系,确定预辐照入射粒子的能量、辐照通量或剂量,再进行电离效应的研究,达到抑制氧化物俘获正电荷形成的目的。

[0018] 当发生电离损伤时,不同类型的入射粒子(尤其是不同类型的带电粒子),会在瞬间导致大量的电子—空穴对。这些电子/空穴对在室温条件下不稳定,大部分会发生复合。未发生复合的电子/空穴对会继续在材料与器件中运动。由于电子的迁移率较大,最后剩余的空穴会被材料和器件中固有的缺陷所俘获。因此,固有缺陷状态会影响电子—空穴对的复合过程,进而影响最终形成的氧化物俘获正电荷。如果能够在不改变材料器件本身性能的条件下,通过预辐照试验,在材料和器件内部产生位移缺陷,进而影响后续电子—空穴对的复合过程,抑制氧化物电荷的形成,对辐射损伤微观机理研究具有重要的意义。

[0019] 本发明应用基于预先辐照的方式,改变试样中的固有位移缺陷状态,来抑制氧化物俘获正电荷的形成,步骤简单,易于操作。本发明所提出的技术途径能够大幅度降低试验的费用,对材料和器件空间环境效应地面模拟试验和研究具有重大的意义。

[0020] 本发明应用于空间环境效应研究与抗辐照加固技术中。

附图说明

[0021] 图1为实施例一所述GNPN双极晶体管经硅离子预辐照前后性能变化图,其中“■”代表未经辐照的GNPN双极晶体管,“●”代表预辐照后的GNPN双极晶体管;

[0022] 图2为实施例与对比实验处理后的GNPN双极晶体管的电离损伤曲线图,其中曲线a代表对比实验未经预辐照直接进行Co-60源电离辐照处理的GNPN双极晶体管,曲线b代表预

辐照后再经Co-60源电离辐照的GNPN双极晶体管；

[0023] 图3为实施例与对比实验处理后的GNPN双极晶体管的氧化物俘获正电荷随吸收剂量的变化曲线图,其中曲线a代表对比实验未经预辐照直接进行Co-60源电离辐照处理的GNPN双极晶体管,曲线b代表预辐照后再经Co-60源电离辐照的GNPN双极晶体管。

具体实施方式

[0024] 本发明技术方案不局限于以下所列举的具体实施方式,还包括各具体实施方式之间的任意组合。

[0025] 具体实施方式一:本实施方式一种基于位移损伤抑制氧化物俘获电荷形成的方法,具体按以下步骤进行:

[0026] 步骤一、确定电子元器件试样中钝化层距表面最远距离为b,电子元器件试样中钝化层距表面最近距离为c;

[0027] 步骤二、选择预辐照入射粒子种类和预辐照入射粒子能量,通过Geant4软件,计算预辐照入射粒子在电子元器件试样中的入射深度 t_1 ;其中 $b > t_1 > c$;

[0028] 步骤三、通过Geant4软件,根据步骤二中选择的预辐照入射粒子能量,计算单位注量的预辐照入射粒子在步骤一试样内的电离吸收剂量 I_{d1} 和位移吸收剂量 D_{d1} ;

[0029] 步骤四、计算 $\log[(I_{d1}+D_{d1})/D_{d1}]$ 值,若 $\log[(I_{d1}+D_{d1})/D_{d1}] < 3$,则确定所选预辐照入射粒子种类和预辐照入射粒子能量,若 $\log[(I_{d1}+D_{d1})/D_{d1}] \geq 3$,则返回步骤二进行操作;

[0030] 步骤五、选择步骤四确定的预辐照入射粒子种类和预辐照入射粒子能量,对步骤一所述试样进行预辐照,确定预辐照注入量 Φ_1 ,要求试样性能退化 $\leq 10\%$;

[0031] 步骤六、选择电离辐照入射粒子种类和电离辐照入射粒子能量,通过Geant4软件,计算电离辐照入射粒子在步骤一试样中达到的入射深度 t_2 ;其中 $t_2 > 2b$;

[0032] 步骤七、通过Geant4软件,根据步骤六中选择的电离辐照入射粒子能量,计算单位注量的电离辐照入射粒子在步骤一试样内的电离吸收剂量 I_{d2} 和位移吸收剂量 D_{d2} ;获得电离吸收剂量 I_{d2} 和位移吸收剂量 D_{d2} 在试样内部产生的损伤的不均匀度,若不均匀度都 $\geq 10\%$,则返回步骤六;若不均匀度都 $< 10\%$,则进行步骤八;

[0033] 步骤八、计算 $\log[(I_{d2}+D_{d2})/D_{d2}]$ 值,若 $\log[(I_{d2}+D_{d2})/D_{d2}] \geq 3$,则确定所选电离辐照入射粒子种类和电离辐照入射粒子能量,若 $\log[(I_{d2}+D_{d2})/D_{d2}] < 3$,则返回步骤六进行操作;

[0034] 步骤九、采用步骤八确定的电离辐照入射粒子种类和电离辐照入射粒子能量,对步骤五预辐照后的试样进行电离辐照,选择电离辐照注量 Φ_2 ,确保电离辐照注量的电离吸收剂量 $\varphi = I_{d2} \times \Phi_2 \geq 10 \text{ krad}$,即完成。

[0035] 具体实施方式二:本实施方式与具体实施方式一不同的是:步骤一中电子元器件试样为采用 SiO_2 作为绝缘材料和钝化层的双极工艺电子元器件。其它与具体实施方式一相同。

[0036] 具体实施方式三:本实施方式与具体实施方式一或二不同的是:步骤二中预辐照入射粒子种类为电子、质子、重离子、中子、光子或介子。其它与具体实施方式一或二相同。

[0037] 具体实施方式四:本实施方式与具体实施方式一至三之一不同的是:步骤二中选择预辐照入射粒子为10MeV的硅离子。其它与具体实施方式一至三之一相同。

[0038] 具体实施方式五:本实施方式与具体实施方式一至四之一不同的是:步骤五中预辐照注入量 Φ_1 为30krad。其它与具体实施方式一至四之一相同。

[0039] 具体实施方式六:本实施方式与具体实施方式一至五之一不同的是:步骤五中预辐照在室温条件,环境为大气、真空或惰性气体下进行。其它与具体实施方式一至五之一相同。

[0040] 具体实施方式七:本实施方式与具体实施方式一至六之一不同的是:步骤六选择电离辐照入射粒子种类为电子、质子、重离子、中子、光子或介子。其它与具体实施方式一至六之一相同。

[0041] 具体实施方式八:本实施方式与具体实施方式一至七之一不同的是:步骤六选择电离辐照入射粒子为Co-60。其它与具体实施方式一至七之一相同。

[0042] 具体实施方式九:本实施方式与具体实施方式一至八之一不同的是:步骤九中对步骤五预辐照后的试样进行电离辐照在室温条件,环境为大气、真空或惰性气体下进行。其它与具体实施方式一至八之一相同。

[0043] 采用以下试验验证本发明的有益效果:

[0044] 实施例一:

[0045] 一种基于位移损伤抑制氧化物俘获电荷形成的方法,具体按以下步骤进行:

[0046] 步骤一、确定电子元器件试样中钝化层距表面最远距离为 b ,电子元器件试样中钝化层距表面最近距离为 c ;所述电子元器件试样为GNPN双极晶体管; b 为 $5.1\mu\text{m}$, c 为 800nm ;

[0047] 步骤二、选择预辐照入射粒子种类和预辐照入射粒子能量,通过Geant4软件,计算预辐照入射粒子在电子元器件试样中的入射深度 t_1 ;其中 $b > t_1 > c$;所选择的预辐照入射粒子为10MeV的硅离子;入射深度 t_1 为 $4.8\mu\text{m}$;

[0048] 步骤三、通过Geant4软件,根据步骤二中选择的预辐照入射粒子能量,计算单位注量的预辐照入射粒子在步骤一试样内的电离吸收剂量 I_{d1} 和位移吸收剂量 D_{d1} ; $I_{d1} = 1.3 \times 10^{-4} \text{rad}/(1/\text{cm}^2)$, $D_{d1} = 2.4 \times 10^{-6} \text{rad}/(1/\text{cm}^2)$;

[0049] 步骤四、计算 $\log[(I_{d1}+D_{d1})/D_{d1}]$ 值, $\log[(I_{d1}+D_{d1})/D_{d1}] = 1.7$,确定所选预辐照入射粒子为10MeV的硅离子;

[0050] 步骤五、选择步骤四确定的预辐照入射粒子种类和预辐照入射粒子能量,对步骤一所述试样进行预辐照,确定预辐照注入量 Φ_1 ,要求试样性能退化 $\leq 10\%$;确定的预辐照入射粒子为10MeV的硅离子;预辐照注入量 Φ_1 为30krad;

[0051] 步骤六、选择电离辐照入射粒子种类和电离辐照入射粒子能量,通过Geant4软件,计算电离辐照入射粒子在步骤一试样中达到的入射深度 t_2 ;其中 $t_2 > 2b$;所选择的电离辐照入射粒子为Co-60;Co-60的能量为1.2MeV;入射深度 $t_2 = 54\text{mm}$;

[0052] 步骤七、通过Geant4软件,根据步骤六中选择的电离辐照入射粒子能量,计算单位注量的电离辐照入射粒子在步骤一试样内的电离吸收剂量 I_{d2} 和位移吸收剂量 D_{d2} ;获得电离吸收剂量 I_{d2} 和位移吸收剂量 D_{d2} 在试样内部产生的损伤的不均匀度, $I_{d2} = 5.8 \times 10^{-12} \text{rad}/(1/\text{cm}^2)$, D_{d2} 为 $1.2 \times 10^{-19} \text{rad}/(1/\text{cm}^2)$;

[0053] 步骤八、计算 $\log[(I_{d2}+D_{d2})/D_{d2}]$ 值, $\log[(I_{d2}+D_{d2})/D_{d2}] = 7.7$,确定所选电离辐照入射粒子种类和电离辐照入射粒子能量;

[0054] 步骤九、采用步骤八确定的电离辐照入射粒子种类和电离辐照入射粒子能量,对

步骤五预辐照后的试样进行电离辐照,选择电离辐照注量 Φ_2 ,确保电离辐照注量的电离吸收剂量 $\varphi=I_{d2}\times\Phi_2\geq 10\text{ krad}$,即完成。

[0055] 本实施例步骤九中电离吸收剂量 φ 为10krad。

[0056] 实施例二:

[0057] 本实施例与实施例一不同的是:步骤九中电离吸收剂量 φ 为20krad。

[0058] 实施例三:

[0059] 本实施例与实施例一不同的是:步骤九中电离吸收剂量 φ 为50krad。

[0060] 实施例四:

[0061] 本实施例与实施例一不同的是:步骤九中电离吸收剂量 φ 为70krad。

[0062] 实施例五:

[0063] 本实施例与实施例一不同的是:步骤九中电离吸收剂量 φ 为100krad。

[0064] 对比实验:

[0065] 对比实验与实施例不同的是电子元器件试样未经硅离子预辐照,直接进行Co-60源电离辐照。

[0066] 实施例一所述GNPN双极晶体管经硅离子预辐照前后性能变化图,如图1所示,其中“■”代表未经辐照的GNPN双极晶体管,“●”代表预辐照后的GNPN双极晶体管;由图可以看出预辐照前后试样性能变化曲线已重合,说明10MeV Si离子预辐照未对试样的性能产生影响,由此满足步骤五所述试样的性能退化 $\leq 10\%$ 。

[0067] 实施例与对比实验处理后的GNPN双极晶体管的电离损伤曲线图,如图2所示,其中曲线a代表对比实验未经预辐照直接进行Co-60源电离辐照处理的GNPN双极晶体管,曲线b代表预辐照后再经Co-60源电离辐照的GNPN双极晶体管,由图可见,相同吸收剂量条件下,经10MeV Si离子辐照后,电离损伤程度较小。

[0068] 实施例与对比实验处理后的GNPN双极晶体管的氧化物俘获正电荷随吸收剂量的变化曲线图,如图3所示,其中曲线a代表对比实验未经预辐照直接进行Co-60源电离辐照处理的GNPN双极晶体管,曲线b代表预辐照后再经Co-60源电离辐照的GNPN双极晶体管,由图可见,经10MeV Si离子预辐照后,会明显抑制氧化物俘获正电荷的形成。

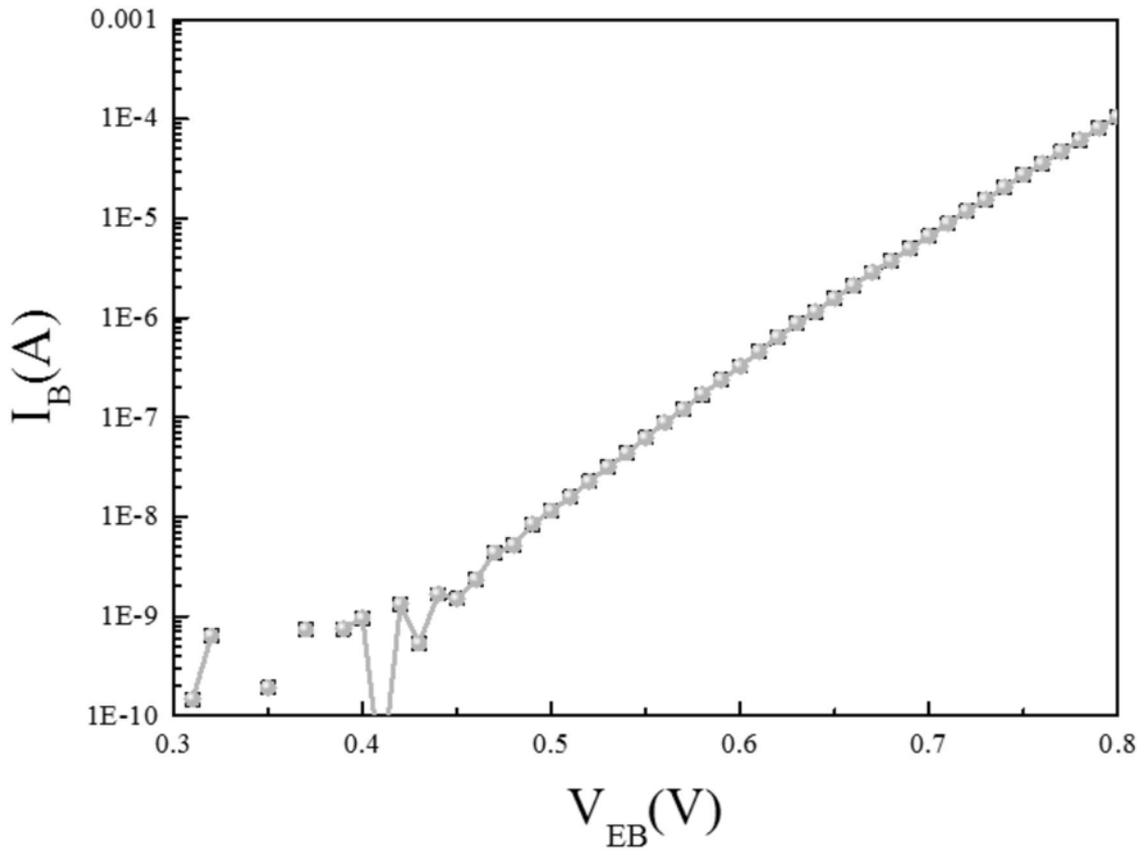


图1

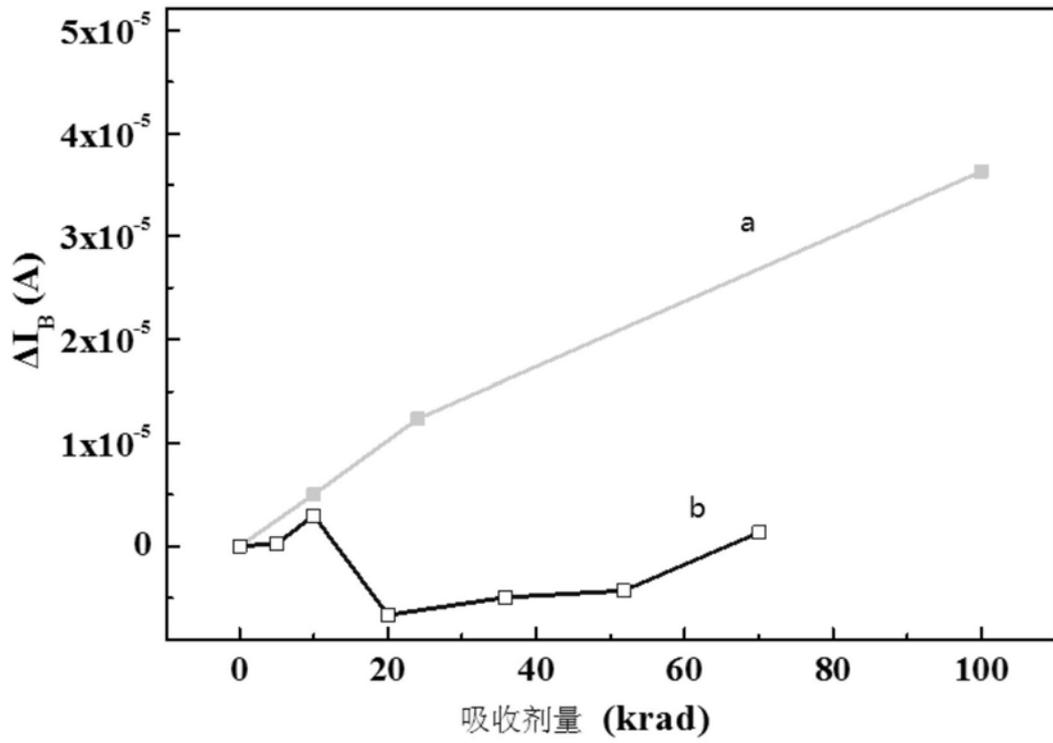


图2

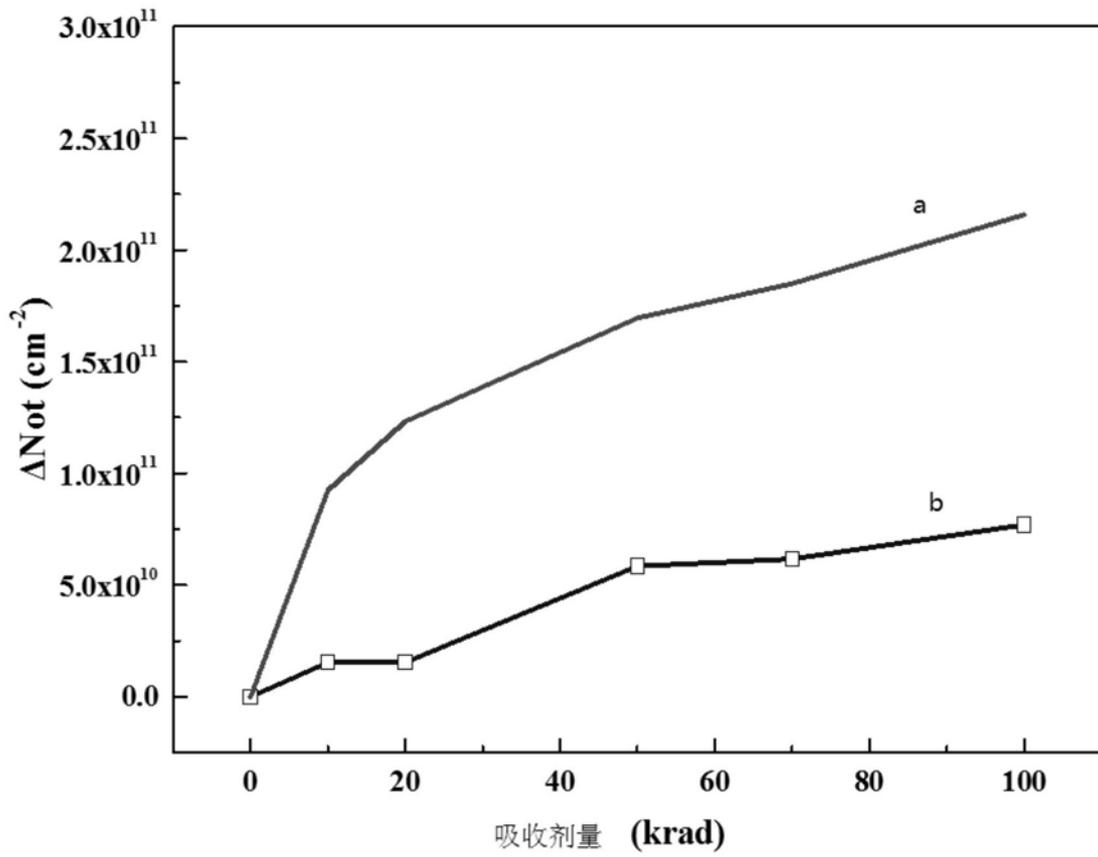


图3