

基于 $1/f$ 噪声变化的 pn 结二极管辐射效应退化机理研究*

孙鹏[†] 杜磊 何亮 陈文豪 刘玉栋 赵瑛

(西安电子科技大学技术物理学院, 西安 710071)

(2011 年 9 月 27 日收到; 2011 年 11 月 16 日收到修改稿)

基于 pn 结二极管辐射效应退化机理中位移效应和电离效应之间的关系, 并结合 pn 结二极管辐射退化的噪声机理, 得到了 pn 结二极管辐射诱导低频噪声的变化规律, 发现两种效应引起的二极管噪声变化规律之间的一致性. 根据实验得到的噪声变化规律, 判断出了辐射应力条件下两种效应之间的关系, 很好地解释了实验中出现的不符合原有理论解释的现象, 对器件加固的研究有着重要意义.

关键词: pn 结, 辐照损伤, $1/f$ 噪声, 损伤

PACS: 78.70.-g, 85.30.Tv, 85.40.Qx

1 引言

pn 结材料是很多半导体器件和电路的核心, 用来实现多种功能, 在航天应用中非常广泛. 具有 pn 结结构的器件在太空辐射环境中将产生辐射损伤致使器件性能退化, 其根本原因是辐射在 pn 结中引入了缺陷. γ 辐射在 pn 结材料中主要产生电离效应和位移效应, 两种效应对应的缺陷分别是界面缺陷和体缺陷^[1]. 研究表明^[1], γ 辐射在很大程度上造成器件的表面损伤, pn 结材料及器件经过 γ 射线辐照后界面缺陷占主导地位. 早期的文献也认为 pn 结 γ 辐射损伤主要是电离损伤, 忽略了位移效应对 pn 结的影响^[2]. 但近期大量的文献报道^[3,4], pn 结经过 γ 射线辐射后, 位移效应产生的体缺陷对 pn 结的影响非常重要, 是不能忽略的.

为了解决这一矛盾, 研究 pn 结二极管 γ 射线辐照损伤机理, 本文设计了不同结面积的 pn 结二极管 γ 射线辐照实验, 发现不同结面积不同剂量下低频噪声幅值增量的变化规律出现不一致, 呈现先

增加再减小的趋势, 这是国内外文献中没有报道过的新现象. 通过建立了 pn 结二极管界面缺陷和体缺陷引起的噪声联合表征模型, 很好的解释了实验中出现的新现象.

2 实验

2.1 实验条件

pn 结二极管的实验样品为西安电子科技大学噪声实验室设计的 n^+p 型二极管, pn 结为 Si 材料, 器件的结面形状为正方形, 面积由大到小, 对比不同结面积二极管辐照后的低频噪声特性. 表 1 列出了三种二极管的各个参数.

表 1 n^+p 二极管参数表

类别	编号	图形	结面积	接触孔距 n^+ 距离
常规	1	方形	64	3.0
	2	方形	9	3.0
	3	方形	1	3.0

* 国家自然科学基金 (批准号: 61106062) 资助的课题.

[†] E-mail: stevesun517@gmail.com

本次辐照实验是在西北核技术研究所进行的, 使用 Co^{60} γ 作为辐照射线的产生源. 实验中使用的辐照射线剂量率为 $50 \text{ rad}(\text{SiO}_2)/\text{s}$ ($1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gy}$), 辐照实验方式为分 2 次辐照, 每次的辐照剂量为 $100 \text{ krad}(\text{SiO}_2)$, $600 \text{ krad}(\text{SiO}_2)$, 辐照时器件的偏置状态为不加偏置, 辐照温度为室温.

2.2 实验结果

图 1 显示了辐照前 pn 结二极管在不同的电流偏置下所产生的 $1/f$ 噪声, 从图中可以看到噪声幅值随着电流偏置的增大而增大, 将在 3.2.1 中进行具体分析.

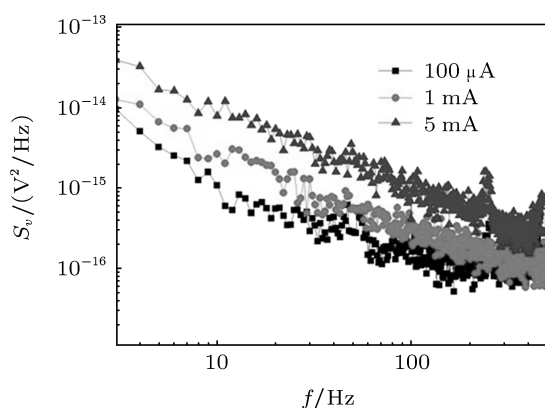


图 1 1#器件在不同电流下的噪声

图 2 显示了 pn 结二极管在不同的辐照剂量下的 $1/f$ 噪声功率谱. 从图中可以看出 $1/f$ 噪声随着辐照剂量的增加而增大, 这是由于辐照在 pn 结表面和体内产生了界面 N_{IT} 和体陷阱 N_{trap} 所引起的.

通过西安电子科技大学噪声实验室自主研发的噪声分析软件将噪声幅值提取出来如表 2 所示.

图 3 显示了三个 pn 结二极管在不同剂量下的噪声幅值的增量. 器件结面形状均为正方形, 且面积由大到小. 从图中可以看出, $100 \text{ krad}(\text{SiO}_2)$ 时噪声幅值的增量随结面积的增加而增加, 并且在辐照之后, 各个器件的噪声幅值都有明显的增长. $600 \text{ krad}(\text{SiO}_2)$ 时噪声幅值依然随着结面积和辐照剂量的增加而增加, 但此时可以明显看到, 3#器件噪声幅值增加的斜率较之前没有明显变化, 而 1#和 2#器件噪声幅值增加的斜率有明显的减小, 这表明 1#和 2#器件的噪声增量有明显的饱和现象产生, 也表明器件噪声幅值增量的斜率变化与结面积的大小成正比.

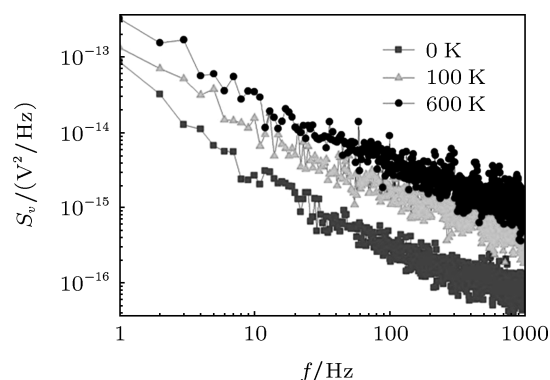


图 2 1#器件在 1 mA 偏置下辐照前后的噪声功率谱变化

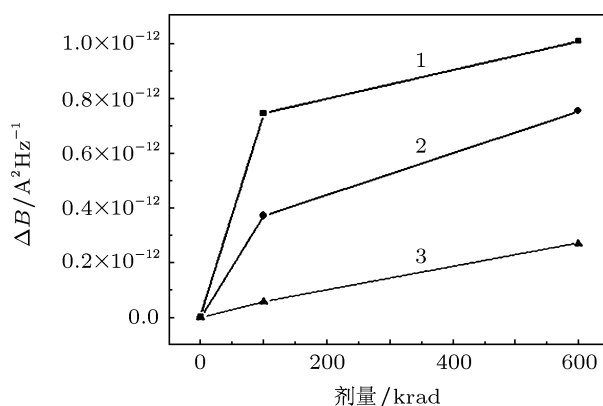


图 3 三个器件不同剂量下的噪声幅值增量

表 2 5 mA 电流偏置下三种器件不同剂量辐照下的噪声幅值

	0 krad	100 krad	600 krad	$\Delta B_1(100 \text{ krad} - 0 \text{ krad})$	$\Delta B_2(600 \text{ krad} - 0 \text{ krad})$
1#	1.01×10^{-12}	8.45×10^{-12}	1.11×10^{-12}	7.44×10^{-12}	1.01×10^{-12}
2#	4.55×10^{-13}	4.17×10^{-13}	7.97×10^{-13}	3.71×10^{-13}	7.52×10^{-13}
3#	3.10×10^{-14}	8.90×10^{-14}	3.01×10^{-14}	5.87×10^{-14}	2.70×10^{-14}

3 分析与讨论

3.1 理论分析

pn 结二极管经 γ 射线辐射后, 表面损伤和体损伤二者均存在, 表面损伤发生在 SiO_2 表面钝化层内, 特别是结区上面的 SiO_2 钝化层. γ 辐射又在二极管基区内产生大量体缺陷 [1]. 界面缺陷与体缺陷共同影响 pn 结二极管的低频噪声. $1/f$ 噪声是低频噪声中的重要组成部分. $1/f$ 噪声通常由器件中的杂质和缺陷 (如氧化层缺陷, 晶格位错, 界面态等) 所引起 [5,6], 而这些缺陷既是辐射在 pn 结材料中引入的主要缺陷, 也是影响 pn 结材料辐射后噪声增加的重要因素. 不同缺陷类型所引起的低频噪声的特点有所不同, 根据低频噪声的特性可以分辨出占主导地位缺陷类型.

电离辐照对氧化层表面的两个永久效应包括 [7]: 1) 氧化层中的正电荷; 2) Si-SiO₂ 界面处的快界面态导致表面复合速率的增加. 这些效应依赖于剂量和剂量率以及辐照过程中提供的偏置和结构参数. 氧化层陷阱电荷改变 Si 中的表面势; 界面陷阱成为复合中心, 增加表面复合速率 s . 电离辐射引起的两种效应均会使 pn 结二极管反向电流增加.

由于 SiO_2 介质层是 pn 结二极管对电离辐照损伤最敏感的部位. 在电离辐照过程中, 材料原子受到辐射作用后产生电子 - 空穴对. SiO_2 介质层具有绝缘特性, 电子 - 空穴对不会立即复合, 在电场作用下, 由于电子的迁移率远远大于空穴的迁移率, 电子将离开氧化层, 而空穴集中在氧化层中. 电离辐射产生的空穴输运到 Si-SiO₂ 界面附近, 被集中在离界面约 10 nm 区俘获, 从而形成氧化层陷阱电荷的积累. 对氧化层电荷贡献最多的是 E' 中心、间隙氧施主中心 O_i 和三价硅施主中心. 这些俘获中心俘获空穴形成氧化层陷阱电荷, 氧化层陷阱电荷构成体缺陷. 界面陷阱 (P_b 心) 的形成过程是电离辐射使某些硅氢键断裂, 产生原子 H, 原子 H 与俘获辐射感生的空穴形成氢离子 H^+ , 氢离子激活被氢钝化的三价硅悬挂键 P_bH , 激发出氢原子形成氢气 H_2 [8]. 界面陷阱电荷构成界面缺陷. 体缺陷和界面缺陷产生的 $1/f$ 噪声特点并不相同. 下面分别讨论两种缺陷产生的 $1/f$ 噪声.

3.1.1 界面缺陷引起的 $1/f$ 噪声

$1/f$ 噪声的产生是由于表面复合速率的涨落, 电离辐射在绝缘层引起陷阱密度的增加, 这些陷阱的充放电产生表面复合速率涨落. 如果绝缘层陷阱在能级和空间分布一致, 这个涨落将会呈现 $1/f$ 谱.

pn 结中的电流是表面复合速率的函数. 绝缘层陷阱占有率的涨落产生表面势的涨落, 之后调制表面复合速率, 最终产生电流噪声.

如果用 I 表示二极管电流, s 表示复合速率, N_{IT} 表示界面陷阱, 则可以得到噪声谱密度的表达式 [9]

$$S_{\text{I1}} = \left(\frac{\partial I}{\partial s}\right)^2 \left(\frac{\partial s}{\partial N_{\text{IT}}}\right)^2 S_{N_{\text{IT}}}. \quad (1)$$

上式表明要得到电流噪声谱密度 S_{I1} 的表达式, 需要分别得到二极管电流与表面复合速率的关系, 表面复合速率与陷阱密度的关系. 二极管电流和表面复合速率的关系为 [9]

$$I = qsn_1 \exp(qV_1/(kT))A. \quad (2)$$

对 s 求导, 得到下式:

$$\frac{\partial I}{\partial s} = qn_1A \exp(qV_1/(kT)). \quad (3)$$

正向偏置下, pn 结电流关系为 [10]

$$I = I_0 \exp(qV/(kT)), \quad (4)$$

q 为电子电量, V 为二极管施加电压, V_1 为当施加电压为 V 时的表面分量. β 为界面复合电流理想因子. 其中对称结的表面分量 [10] $V_1 = 0.5V$, 界面复合电流理想因子 $\beta = 2$, 结合 (3) 式和 (4) 式, 并将 V_1 与 β 值代入, 得到下式:

$$\frac{\partial I}{\partial s} = qn_1A \frac{I}{I_0}. \quad (5)$$

表面复合速率和界面陷阱密度的关系如下 [7]:

$$s = (\pi kT/2)V_{\text{th}}(\sigma_n\sigma_p)^{1/2}N_{\text{IT}}, \quad (6)$$

N_{IT} 为界面陷阱密度; k 为波尔兹曼常数; V_{th} 为载流子热运动速度; σ_n, σ_p 分别为电子和空穴的俘获截面. 对 N_{IT} 求导, 得到下式:

$$\frac{\partial s}{\partial N_{\text{IT}}} = (\pi kT/2)V_{\text{th}}(\sigma_n\sigma_p)^{1/2}. \quad (7)$$

由载流子数涨落理论可知 [9]

$$S_{N_{\text{IT}}} = \frac{kTN_{\text{IT}}}{\ln(\tau_2/\tau_1)} \frac{1}{f}. \quad (8)$$

综合以上,可以得到 pn 结材料界面陷阱引起的噪声为

$$S_{I1} = \left(\frac{qn_1 A \pi k T V_{th} I}{2I_0} \right)^2 \times \sigma_n \sigma_p \frac{k T N_{IT}}{\ln(\tau_2/\tau_1)} \frac{1}{f}. \quad (9)$$

由上式可以看出界面陷阱引起的噪声谱密度与界面陷阱密度成线性关系,辐射引起界面陷阱密度的增加,这也是引起辐照后 pn 结材料噪声增大的主要原因。

3.1.2 体缺陷引起的 $1/f$ 噪声

很多文献在考虑 pn 结的 γ 辐照是仅仅考虑界面效应,而忽略其体效应.有研究报道^[2,4],当剂量超过一定程度时,体缺陷对于 pn 结的影响开始越来越明显. γ 射线引起的体缺陷一般是点缺陷,而不是缺陷群.辐照缺陷引入了新的能级,起载流子复合中心,俘获中心作用,从而使 pn 结的噪声增大.文献[11]已经建立了体缺陷引起噪声的模型

$$S_I = \left(\frac{I}{nV_t} \right)^2 \left(\frac{qx_j}{A\epsilon_0\epsilon_s} \right)^2 S_{\delta N_t}. \quad (10)$$

由载流子数涨落理论可知

$$S_{\delta N_t} = \frac{k T N_{trap}}{\ln(\tau_2/\tau_1)} \frac{1}{f}, \quad (11)$$

因此体缺陷引起的噪声可表示为

$$S_{I2} = \left(\frac{I}{nV_t} \right)^2 \left(\frac{qx_j}{A\epsilon_0\epsilon_s} \right)^2 \times \frac{k T N_{trap}}{\ln(\tau_2/\tau_1)} \frac{1}{f}. \quad (12)$$

3.1.3 总噪声

γ 射线在 pn 结中会引起表面缺陷和体缺陷,两种缺陷共同影响 pn 结的噪声,因此,由于辐照缺陷引起的总噪声的最终表达式为

$$S_I = \left(\frac{qn_1 A \pi k T V_{th} I}{2I_0} \right)^2 \times \sigma_n \sigma_p \frac{k T N_{IT}}{\ln(\tau_2/\tau_1)} \frac{1}{f} + \left(\frac{I}{nV_t} \right)^2 \left(\frac{qx_j}{A\epsilon_0\epsilon_s} \right)^2 \times \frac{k T N_{trap}}{\ln(\tau_2/\tau_1)} \frac{1}{f}. \quad (13)$$

令

$$\left(\frac{qn_1 \pi k T V_{th}}{2I_0} \right)^2 \sigma_n \sigma_p \frac{k T}{\ln(\tau_2/\tau_1)} = c_1,$$

$$\left(\frac{1}{nV_t} \right)^2 \left(\frac{qx_j}{\epsilon_0\epsilon_s} \right)^2 \frac{k T}{\ln(\tau_2/\tau_1)} = c_2,$$

则(13)式可化简为

$$S_I = \left(c_1 N_{IT} A^2 + c_2 N_{trap} \frac{1}{A^2} \right) \frac{1}{f} I^2. \quad (14)$$

由上式可以看出,两种缺陷引起的噪声都与电流的平方成正比关系,不同的是表面缺陷引起的电流噪声与 pn 结结面积的平方成正比,而体缺陷引起的噪声和 pn 结结面积的平方成反比。

根据电流噪声与电压噪声关系可知

$$S_v = R_d^2 S_I, \quad (15)$$

因此电压噪声与不同类型缺陷之间的关系与电流噪声相同。

3.2 实验验证

3.2.1 噪声与偏置的关系

由(14)式可以看出,界面缺陷与体缺陷共同引起的总噪声与电流的平方成正比,这解释了图1中 pn 结中辐照引起的噪声随着偏置电流的增大而增大的现象.并且根据此关系,可以通过测量不同电流偏置下的噪声来确定 pn 结中缺陷的数量,判断器件的损伤程度,从而对器件的可靠性进行表征。

3.2.2 噪声与剂量的关系

由(14)式可以看出,噪声与界面陷阱和体陷阱均成正比.文献中给出了电离辐射诱导界面陷阱电荷密度为^[12]

$$N_{IT} = N_{SiH} \left[1 - \exp \left(- \frac{1}{2} \sigma_{DH} \sigma_{it} \times N_{DH} \kappa_g f_y t_{ox}^2 D \right) \right], \quad (16)$$

κ_g 为单位辐射剂量在氧化层中产生的电子-空穴对数, f_y 为与电场相关的电子-空穴对逃脱复合的概率, N_{DH} 为氧化层体内含氢缺陷浓度, σ_{DH} 为氧化层体内含氢缺陷对空穴的俘获截面, σ_{it} 为界面处被氢钝化的硅悬挂键对质子的俘获截面, t_{ox} 为氧化层厚度, D 为辐照剂量.在辐照剂量较低时,对其进行 Taylor 展开并近似,可得到^[12]

$$N_{IT} = \frac{1}{2} N_{SiH} N_{DH} \sigma_{DH} \times \sigma_{it} \kappa_g f_y t_{ox}^2 D. \quad (17)$$

可以看出辐射产生的界面陷阱是与辐射剂量成正比的. 同样有文献给出辐射引起的体缺陷^[13]

$$N_{\text{trap}} = \sigma N_{\text{at}} D, \quad (18)$$

N_{at} 为靶原子密度. 辐射产生的体陷阱同样与辐照剂量成线性关系. 将 (17), (18) 式代入 (14), (15) 式得到

$$S_{\nu} = R_{\text{d}}^2 \left(\frac{1}{2} c_1 N_{\text{SiH}} N_{\text{DH}} \sigma_{\text{DH}} \sigma_{\text{it}} \kappa_{\text{g}} f_{\text{y}} t_{\text{ox}}^2 A^2 + c_2 \sigma N_{\text{at}} \frac{1}{A^2} \right) \frac{1}{f} I^2 D. \quad (19)$$

由 (19) 式可以看出, 电压噪声功率谱密度与辐照剂量成正比关系, 很好地解释了图 2 中噪声随着辐照剂量的增加而增加的现象.

3.2.3 噪声与 pn 结结面积的关系

图 3 显示了三个不同面积的 pn 结二极管在不同剂量下的噪声幅值的增量. 从图中可以看出, 在剂量较小的情况下, 噪声幅值的增量随着 pn 结结面积的增大而增大, 这是由于在小剂量情况下, 界面陷阱引起的噪声增量占主导地位, 由 (9) 式可以看出界面陷阱引起的噪声与 pn 结二极管结面积平方成正比关系, 因此, 结面积越大, 噪声增量越大. 但由于存在退火现象, 所以 600 krad 时的噪声幅值增量的斜率小于 100 krad 时的噪声幅值增量的斜率. 1#器件在 100 krad 时, 噪声幅值增量的斜率为 7.437×10^{-15} , 600 krad 时斜率减小为 1.678×10^{-15} , 斜率减小了 77%; 2#器件在 100 krad 时, 噪声幅值增量的斜率为 3.712×10^{-15} , 在 600 krad 时斜率减小为 1.253×10^{-15} , 斜率减小了 66%; 3#器件在 100 krad 时, 噪声幅值增量的斜率为 5.807×10^{-16} , 在 600 krad 是斜率减小为 4.967×10^{-16} , 斜率减小了 14.5%. 可以看出, pn 结结面积越小, 噪声幅值增量的斜率变化越小, 这是因为随着辐照剂量的增加, 辐照引起的体缺陷开始对器件的噪声特性产生影响, 补偿了退火效应导致的斜率减小. 由 (12) 式可以看出, pn 结结面积越小, 体缺陷引起的噪声越大. 1, 2, 3 号器件结面积逐渐减小, 体缺陷产生的噪声则逐渐增大, 因此, 对退火效应的补偿作用也越来越明显, 所以噪声幅值增量的斜率变化逐渐减小.

3.2.4 实验结果的理论分析

pn 结材料在遭受 γ 辐射之后会产生电离效应和位移效应, 两种效应对应的缺陷分别是界面缺陷和体缺陷^[1].

先前有较多论文对 pn 结的 γ 辐照噪声有过研究, 但多数文献都将体陷阱引起的噪声忽略, 只考虑界面陷阱引起的噪声^[1,2]. 然而当 γ 光子穿透器件时, 会产生光电子和康普顿电子. 当 γ 光子将其全部能量传给原子中的电子时, 会产生光电子, 从而使原子电离. 当 γ 光子仅把一部分能量传给原子中的电子时, 便产生康普顿散射电子, 而光子本身变成低能光子. 康普顿散射电子, 依赖于入射光子能量, 通常会获得足够的能量, 沿这一方向进一步产生“二次”电离效应, 甚至使原子产生位移, 产生弗仑克尔缺陷^[6]. 因此研究 pn 结 γ 辐照引起的体缺陷是非常必要的.

有文献报道, 对于单晶体管的 γ 辐照实验, 发现单晶体管基区电阻阻值出现先上升后下降的趋势, 原因是因为位移损伤的产生滞后于电离损伤^[4], 当辐射剂量大于一定程度时, 位移效应产生的体缺陷才开始对器件的性能有明显的影响. 实验同样验证了这一趋势.

本文的实验结果也符合上述理论. 根据本文的实验结果, 如果按照原有理论, 即忽略位移效应所产生的体缺陷, 只考虑电离效应所导致的界面缺陷, 则根据 3.1.1 节中推导出的 (9) 式可以看出, 噪声幅值应该与结面积完全成正比例关系. 因此, 原有理论无法解释图 1 中 1#和 2#器件噪声幅值增量的下降趋势, 而这一趋势可以用位移效应所产生的体缺陷来解释. 在低剂量情况下, 电离效应所导致的界面缺陷占主导地位, 这使得 pn 结的噪声幅值随着截面积的增加而增大. 在高剂量情况下, 位移效应所产生的体缺陷已经对器件有了明显的影响, 而体缺陷所导致的噪声幅值与结面积的大小成反比, 因此产生了图 1 中 1#和 2#器件噪声幅值增量的下降趋势.

4 结论

本文设计了 pn 结二极管 γ 射线辐照实验, 发现不同结面积 pn 结在不同剂量下噪声增量的变化规律不一致, 在小剂量情况下, 噪声增量随着面

积的增加而增加,随着剂量的增加,噪声增量的斜率开始减小,并且pn结结面积越小,噪声增量的斜率变化的越小,以上现象其他文献中没有报道过.针对此现象进行pn结材料辐射损伤机理研究,发现pn结材料经 γ 射线辐照后,噪声增量由界面缺

陷和体缺陷由共同决定,并建立了pn结材料噪声联合表征模型.模型显示,在小剂量辐照条件下,界面缺陷引起的噪声增量占主导地位,但随着剂量的增加,位移损伤机制的影响逐渐增大,体缺陷对噪声的贡献也增大,从而导致了噪声增量斜率的变化.

-
- [1] Chen P X 2005 *Radiation Effects on Semiconductor Devices and Integrated Circuits* (National Defense Industry Press) (in Chinese) [陈盘训 2005 半导体器件和集成电路的辐射效应 (国防工业出版社)]
- [2] Horne W E 1974 *Literature Search and Radiation Study on Electronic Parts* (in Chinese) [霍恩 1974 辐射对电子元件器件的影响 (国防工业出版社)]
- [3] Wang J R, Gao Z L 1996 *J. Nucl. Argic. Sci.* **17** 75 (in Chinese) [王锦荣, 高仲林 1996 核农学通报 **17** 75]
- [4] Zhao H F, Du L, He L 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 028501 (in Chinese) [赵鸿飞, 杜磊, 何亮 2011 物理学报 **60** 028501]
- [5] Jevtic M M 1995 *Microelectronics Reliability* **35** 1925
- [6] Huang Y C, Liu D F 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 2261 (in Chinese) [黄杨程, 刘大福 2005 物理学报 **54** 2261]
- [7] Snow E H, Grove A S, Fitzgerald D J 1967 *Proceedings of The IEEE* **55** 1168
- [8] Barnaby H J, Analytical 2002 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **49** 2643
- [9] Zhuang Y Q, Sun Q 1993 *Noise and its Minimizing Technology in Semiconductor Devices* (National Defense Industry Press) (in Chinese) [庄奕琪, 孙青 1993 半导体器件中的噪声及其低噪声化技术 (国防工业出版社)]
- [10] Liu E K, Zhu B S, Luo J S 1994 *Semiconductor Physics* (National Defense Industry Press) p116 (in Chinese) [刘恩科, 朱秉升, 罗晋生 1994 半导体物理学 (国防工业出版社) 第 116 页]
- [11] Fan-Chi Hou, Gijs Bosman, Eddy Simoen 1998 *IEEE Transaction on Electron Devices* **45** 2528
- [12] Chen W H, Du L, Zhuang Y Q 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 4090 (in Chinese) [陈伟华, 杜磊, 庄奕琪 2009 物理学报 **58** 4090]
- [13] Claeys C, Simoen E 2008 *Radiation Effects in Advanced Semiconductor Materials and Devices* (National Defense Industry Press) (in Chinese) [刘忠立 2008 先进半导体材料及器件的辐射效应 (国防工业出版社)]

Radiation degradation mechanism of pn-junction diode based on $1/f$ noise variation*

Sun Peng^{1)†} Du Lei He Liang Chen Wen-Hao Liu Yu-Dong Zhao Ying

(School of Technical Physics, Xidian University, Xi'an 710071, China)

(Received 27 September 2011; revised manuscript received 16 November 2011)

Abstract

Based on the relationship between ionizing damage effect and displacement damage effect under radiation degradation mechanism of pn-junction diode, and combined with the noise theory of radiation degradation of pn-junction diode, a change law of low frequency noise of pn-junction diode under radiation is found. The inconsistency between the change laws of two kinds of effects is found. Based on the experimental result, the relationship between two kinds of effects is judged. This relationship can explain the experimental result. This is very important for the device hardening research.

Keywords: pn junction, radiation damage, $1/f$ noise, damage

PACS: 78.70.-g, 85.30.Tv, 85.40.Qx

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 61106062).

† E-mail: stevesun517@gmail.com