

## ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРЕМНИЕВЫХ ЛПД ММ-ДИАПАЗОНА В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ $\gamma$ -РАДИАЦИИ

Л.В.Щербина<sup>1)</sup>, Т.В.Торчинская<sup>2)</sup>, Е.С.Щербина<sup>3)</sup>, Г.П.Полупан<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Институт физики полупроводников НАНУ, Украина, 252028, г.Киев,  
пр.Науки 45, тел./факс. (044) 265-83-44, e-mail: ttorch@opto.kiev.ua

<sup>2)</sup> Национальный технический университет Мексики, Мексика, г.Мехико,  
e-mail ttorch@esfm.ipn.mx

<sup>3)</sup> Национальный технический университет Украины, Украина, 252056, г.Киев,  
пр.Победы 37, тел./факс. (044) 241-70-09, e-mail: polupan@naverex.kiev.ua

Рассмотрено влияние гамма-радиации  $^{60}\text{Co}$  на электрофизические параметры кремниевых лавинно-пролетных диодов (ЛПД). Показана возможность уменьшения величины обратного тока, количества микроплазм в области лавинного пробоя, увеличения диффузионной длины неосновных носителей заряда в базе ЛПД и увеличения выходной СВЧ мощности при воздействии сравнительно небольших доз гамма-радиации. Наблюдаемые эффекты связываются с уменьшением концентрации глубоких центров в базе ЛПД и "залечиванием" структурных дефектов в полупроводнике.

### I. Введение

При воздействии больших доз гамма-радиации на кремниевые ЛПД наблюдается деградация приборов, обусловленная накоплением в базе ЛПД радиационных дефектов [1]. При воздействии малых доз  $\gamma$ -радиации наблюдается улучшение некоторых параметров Si сплавных и GaAs ЛПД [2]. Авторы настоящей работы исследовали влияние малых и средних доз  $\gamma$ -облучения  $^{60}\text{Co}$  на низкочастотные характеристики и СВЧ мощность диффузионных кремниевых ЛПД.

### II. Основная часть

Исследовались кремниевые  $p^+-n-p^+$ -мезадиоды, полученные диффузией бора из газовой фазы в подложку  $p-n^+$ -типа с удельным сопротивлением базы  $0,15\pm 0,22$  Ом·см. Диоды изготавливались по групповой технологии в виде обратных меза-структур диаметром  $(5\pm 7)\cdot 10^{-3}$  см. Напряжение пробоя составляло  $19\pm 1$ В.

Облучение диодов  $\gamma$ -квантами  $^{60}\text{Co}$  проводилось на установке МРХ- $\gamma$ -25М в интервале доз от  $10^5$  до  $10^9$  Р. До и после облучения ЛПД различными дозами регистрировались: ВАХ, температурная зависимость обратного тока, однородность развития лавинного пробоя, а также выходная СВЧ мощность. Одновременно на тестовых  $p^+-n-p^+$ -структурах из тех же партий, что и исследованные ЛПД, электронно-зондовым методом изучалось изменение диффузионной длины неосновных носителей заряда после облучения их  $\gamma$ -квантами  $^{60}\text{Co}$ .

Температурная зависимость обратного тока содержала два участка, характеризующиеся различными значениями энергии активации  $E_a$ . До  $\gamma$ -облучения в области низких температур  $E_a$  составляла  $0,52\pm 0,02$  эВ, что характерно для термогенерационного тока, обусловленного термическим возбуждением носителей через уровни, расположенные в середине запрещенной зоны, и связанные с атомами  $\text{Au}_{\text{Si}}$  [3]. В области высоких температур  $E_a \approx 1,1$  эВ, что указывает на существенный вклад диффузионного тока.

С увеличением дозы  $\gamma$ -облучения до  $(5\pm 8)\cdot 10^7$  Р происходило монотонное снижение

величины термогенерационной компоненты обратного тока. Причем, чем выше начальный уровень тока, тем больше кратность его изменения в процессе  $\gamma$ -облучения (рис.1, кривые 1, 2, 3). Наклоны температурной зависимости обратного тока при этом не изменялись.

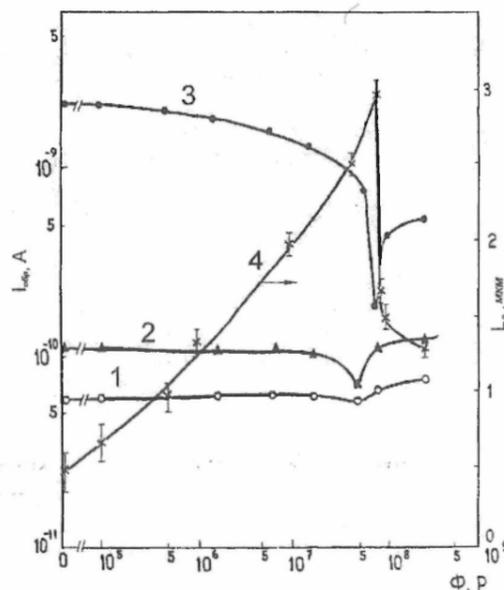


Рис. 1. Изменение величины обратного тока для кремниевых ЛПД из разных групп при  $U=3$  В (1, 2, 3) и диффузионной длины (4) в процессе облучения  $\gamma$ -квантами  $^{60}\text{Co}$ .

При дозе свыше  $8\cdot 10^7$  Р обратный ток увеличивался из-за роста термополевой компоненты тока, что приводило к монотонному снижению наклонов обоих участков температурной зависимости обратного тока. Напряжение пробоя в процессе облучения  $\gamma$ -квантами  $^{60}\text{Co}$  не изменялось.

Уменьшение термогенерационной компоненты обратного тока под воздействием малых доз  $\gamma$ -облучения при неизменном напряжении пробоя свидетельствует об увеличении времени жизни  $\tau$  и диффузионной длины  $L$  неосновных носителей

заряда. Оценки  $L$  по данным электронно-зондовых измерений подтверждают этот вывод (см. рис. 1, кривая 4).

Как показал эксперимент, облучение  $\gamma$ -квантами до дозы  $(5+8) \cdot 10^7$  Р приводило к некоторому уменьшению числа микроплазм в области лавинного пробоя диодов (микроплазмы фиксировались с помощью модуляционного дифференцирования ВАХ по пикам второй производной  $\frac{\partial^2 I}{\partial V^2}$

[4]) и амплитуды микроплазменного шума. Дальнейшее повышение дозы вызывало увеличение амплитуды шума.

Надо отметить, что в диапазоне доз  $1 \cdot 10^5 + 8 \cdot 10^7$  Р облучение  $\gamma$ -квантами  $^{60}\text{Co}$  вызывало увеличение выходной СВЧ мощности  $P_{\text{вых}}$ . Так, отношение  $\bar{P}_{\text{вых}} / P_{\text{вых}}$  изменялось от 1,0 до 1,7. При дальнейшем возрастании дозы происходило снижение  $P_{\text{вых}}$  ( $\bar{P}_{\text{вых}} / P_{\text{вых}} = 0,9$  при дозе  $5 \cdot 10^5$  Р).

Увеличение  $\tau$  и  $L$  под действием  $\gamma$ -облучения может происходить вследствие уменьшения концентрации исходных рекомбинационных центров. Действительно, снижение термогенерационной компоненты обратного тока не сопровождается изменением наклона на его температурной зависимости, т. е. при этом не появляются какие либо новые центры. Возможным механизмом, вызывающим снижение под действием  $\gamma$ -облучения числа рекомбинационных центров атомов  $\text{Au}_{\text{Si}}$ , является "эффект Уоткинса" – выход последних из узла в междоузлие и геттерирование их впоследствии поверхностями различных преципитатов или дислокациями [5]. Уменьшение числа микроплазм в области лавинного пробоя и увеличение  $P_{\text{вых}}$  можно объяснить, если предположить, что в результате облучения в диапазоне доз  $1 \cdot 10^5 + 8 \cdot 10^7$  Р происходит "залечивание" структурных дефектов в полупроводнике в результате взаимодействия их с точечными дефектами радиационного происхождения.

Увеличение дозы  $\gamma$ -облучения свыше  $8 \cdot 10^7$  Р вызывает накопление в базе ЛПД неких радиационных дефектов, приводящих к росту термополевой компоненты обратного тока и микроплазменных шумов, а также к уменьшению диффузионной длины неосновных носителей заряда и  $P_{\text{вых}}$ . Плавное уменьшение наклонов на температурной зависимости обратного тока свидетельствует о монотонном уменьшении энергетического зазора между уровнями, обусловленными возникающими дефектами.

### III. Заключение

Воздействие малых и средних доз  $\gamma$ -радиации на кремниевые ЛПД с удельным сопротивлением базы  $0,15+0,22$  Ом·см приводило к уменьшению термогенерационной компоненты обратного тока, улучшению однородности лавинного пробоя, увеличению диффузионной длины неосновных носителей заряда, а также к увеличению выходной СВЧ мощности. Напряжение пробоя при этом не изменялось. Улучшение электрофизических параметров ЛПД связывается с преобразованием собственных точечных дефектов, а также с "залечиванием" структурных дефектов в полупроводнике в результате взаимодействия их с точечными дефектами радиационного происхождения.

### Список литературы

1. Gutman R.I., Borrego I.M., Chandhi S.K. // Proc. IEEE. – 1974. - в. 62. - № 9. – P.1256.
2. Пека Г.П., Токалин О.А. // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника.-1988.-в.14.-С.1.
3. Милнс А. Примеси с глубокими уровнями в полупроводниках.- М.: Мир.- 1977.-562с.
4. Зайцевский И.Л., Конакова Р.В., Рыбалка В.В., Щербина Л.В. // Микроэлектроника.-1980.-т.9.-№3.-С.253.
5. Болотов В.В., Коротченко В.А., Мамонтов А.П.-ФТП.- 1980.- т.14.- №11.- С.2257.

## PARAMETER CHANGES IN SILICON IMPATT DIODES FOR MM WAVELENGTH RANGE EXPOSED TO $\gamma$ -RADIATION

L.V.Shcherbina<sup>1)</sup>, T.V.Torchinskaya<sup>2)</sup>, E.S.Shcherbina<sup>3)</sup>, G.P.Polupan<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Institute of Semiconductor Physics NASU, 45 pr. Nauki, 252028 Kiev, Ukraine.  
Tel/Fax (38044) 265-83-44.

<sup>2)</sup>National Technical University of Mexico, Mexica.

<sup>3)</sup>National Technical University of Ukraine, 37 pr. Pobedy, 252056 Kiev, Ukraine.  
Tel/Fax (38044) 241-70-09.

We investigated the  $p^+n^-n^+$ -silicon mesa-diodes fabricated using batch technique whose breakdown voltage was 19+1 V.

The exposition of IMPATT diodes to  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -radiation was made in the  $10^3$  to  $10^7$  Gy dose range.

When the  $\gamma$ -irradiation dose was increased up to  $(5+8) \cdot 10^5$  Gy, then the thermal-generation component of the reverse current was monotonously decreasing. The breakdown voltage remained the same during  $\gamma$ -irradiation.

It was shown experimentally that exposition of diodes to  $(5+8) \cdot 10^5$  Gy doses of  $\gamma$ -irradiation led to some drop of both the number of microplasmas in the avalanche breakdown region and the microplasma noise level.  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -irradiation in the  $10^3+8 \cdot 10^5$  Gy dose range led also to the growth of the microwave output power  $P_{\text{out}}$ .

The decrease of the microplasma number in the avalanche breakdown region and  $P_{\text{out}}$  growth may be explained if one assumes that  $\gamma$ -irradiation in the  $10^3+8 \cdot 10^5$  Gy dose range leads to "healing" of structural defects in the semiconductor due to their interaction with the radiation-induced point defects.

The  $\gamma$ -irradiation dose increase over  $8 \cdot 10^5$  Gy results in a storage of some radiation-induced defects in the IMPATT diode base and electrical parameters of diodes are degrading.

3-я международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом» 6-8 октября 1999 г. Минск Беларусь  
3-d International Conference «Interaction of Radiation with Solids» October 6-8 1999 Minsk Belarus

