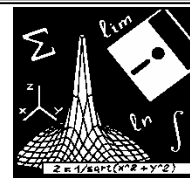


ЭЛЕКТРОНИКА



УДК 621.382

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ВИДИКОНА ЦНИИ «ЭЛЕКТРОН» ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НЕЙТРОНАМИ

В.А.Абрамовский, Т.А.Герасименко*

INVESTIGATION OF RADIATION RESISTANCE OF THE VIDICON BY JSC CSRI «ELECTRON» ON NEUTRON IRRADIATION

V.A.Abramovskii, T.A.Gerasimenko*

*Институт электронных и информационных систем НовГУ, Victor.Abramovsky@novsu.ru*** Липецкий государственный технический университет, t.a.gerasimenko@mail.ru*

Рассмотрены вопросы радиационной стойкости мишеней многослойных видиконов при различных энергиях налетающих нейтронов. Определены энергии и дозы, выделяемые в каждом слое мишени видикона.

Ключевые слова: видикон, радиационная стойкость, доза, нейтрон, гамма-излучение

The problems of radiation resistance of multilayer vidicons targets at different energies of incident neutrons are considered. The energies and doses allocated to each layer of the vidicon target are defined.

Keywords: vidicon, radiation resistance, dose, neutron, gamma radiation

Введение

Телевизионная техника промышленного телевидения, предназначенная для работы на ядерных энергетических установках, в основном использует в качестве передающих элементов видиконы. Это связано с тем, что передающие устройства на ПЗС-матрицах пока уступают видиконам в радиационной стойкости.

Телевизионные системы контроля и наблюдения в ядерной технике обладают радиационной стойкостью 10^6 Р/час интегральной дозой 10^8 Рад [1].

В предыдущей статье [2] мы обсудили радиационную стойкость видикона ЦНИИ «Электрон» [3] при облучении гамма-квантами с энергиями $E_1 = 100$ КэВ, (характерная энергия для энергетического фотонного спектра реакторов, при которой становятся заметными радиационные повреждения полупроводников), $E_2 = 122,06$ КэВ (энергия источника ^{57}Co), $E_3 = 800$ КэВ (средняя энергия фотонов в реакторе), $E_4 = 1173,2$ КэВ и $E_5 = 1332,5$ КэВ (соответствующие энергиям источника фотонов ^{60}Co). Было показано, что без соответствующей защиты время существования видикона внутри реактора составляет всего несколько суток для каждой величины рассмотренных энергий.

При облучении полупроводников гамма-квантами вероятность непосредственного взаимодействия гамма-кванта с ядром атома очень мала. Радиационные повреждения в данном случае будут возникать за счет электронов, образующихся в полупроводнике главным образом в результате комптон-эффекта (гамма-кванты взаимодействуют в основном с электронами атомных оболочек).

Для облучения нейтронами ситуация иная. Для смещения атома в полупроводнике требуется около

12—15 эВ. При делении горючего в реакторе рождаются вторичные нейтроны, энергия которых колеблется от 0,1 до 17 МэВ. Наиболее вероятная энергия — около 0,75 МэВ, а средняя — примерно 2 МэВ.

Существует несколько типов радиационных дефектов, создаваемых интенсивным ядерным излучением.

1. Вакансии. Образование вакансионных мест в кристаллической решетке происходит в результате столкновений между нейтронами и ядрами или атомами. Энергия, передаваемая нейтроном ядру, обычно так велика, что каждое первичное соударение приводит к выбиванию атома и последующему каскаду столкновений с образованием вакансий.

2. Междоузельные атомы — это атомы, смещенные при соударениях в междоузельные или нерегулярные неравновесные положения и не рекомбинировавшие с ближайшими вакансиями.

3. Примесные атомы — образуются при ядерных превращениях в результате соударений падающих нейтронов с регулярными ядрами полупроводников.

4. Ионизация и возбуждение электронов. Нейтроны при их прохождении через вещество могут создавать местную ионизацию и возбуждение электронов, которые могут сообщить ядрам или атомам добавочную колебательную энергию.

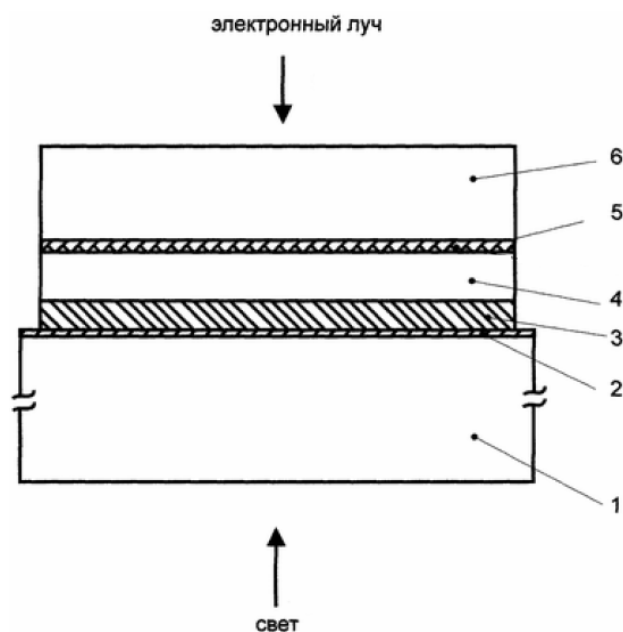
5. Температурные или тепловые пики. Атомы в этом случае имеют по сравнению с их обычном состоянием высокие энергии колебаний.

6. Замещающие соударения. После соударения движущегося междоузельного атома с регулярным атомом налетающий атом падает в вакансионное положение и там диссипирует избыточную энергию в виде колебаний решетки.

Все эти эффекты приводят к более сильным радиационным повреждениям, чем в случае облучения гамма-квантами.

На рисунке показана структура мишени видикона ЦНИИ «Электрон» [3]. Она содержит

- подложку (1) из кварца SiO_2 толщиной 2 мм;
- проводящий слой (2) In_2O_3 толщиной 0,02 мкм;
- фоточувствительный слой (3) CdSe с n^+ проводимостью толщиной 0,1 мкм;
- фоточувствительный слой (4) CdSe толщиной 0,24 мкм;
- резистивный слой (5) AsSbS_3 толщиной 0,1 мкм;
- резистивный слой (6) As_2Se_3 толщиной 1,5 мкм.



Модель мишени видикона ЦНИИ «Электрон»

Утверждается, что такая конструкция мишени видикона повышает глубину модуляции на 20-25% в условиях повышенной температуры окружающей среды. Также утверждается, что темновой ток таких мишеней и остальные параметры не изменяются после облучения дозой 10^8 Рад (Si) гамма-источником ^{60}Co в условиях повышенной температуры окружающей среды.

Моделирование радиационной стойкости видикона ЦНИИ «Электрон» при облучении нейтронами

В этом разделе мы приведем энергии, выделившиеся в каждом из слоев видикона ЦНИИ «Электрон» при облучении нейтронами разных энергий. Эти энергии (и связанные с ними радиационные дозы) вычислялись с использованием программы GEANT-4 [4], успешно применяемой при расчете экспериментов на Большом адронном коллайдере.

Визуальная модель для расчета представляет собой прямоугольный параллелепипед с основанием 1 см^2 и слоями, размеры которых приведены на рисунке. В каждом слое задавалось число атомов элементов (Si, O, In, Cd, Se, As, Sb, S) в 1 см^3 . В программе заложены сечения рассеяния и поглощения нейтронов при заданных энергиях. В программе учитываются перерассеяния нейтронов и число нейтронов, покидающих объем. Поток нейтронов был направлен перпендикулярно основанию объема (1) (на рисунке со стороны падающего света). Число падающих нейтронов выбиралось равным 10^6 . Этого числа было достаточно, чтобы исключить все флуктуации.

Образец облучался нейтронами с энергиями $E_1 = 0,025 \text{ эВ}$, $E_2 = 0,5 \text{ эВ}$, $E_3 = 10 \text{ эВ}$, $E_4 = 100 \text{ эВ}$

Результаты моделирования приведены в табл.1. Соответственно, дозы, полученные объемами, приведены в табл.2.

Таблица 1

№ слоя	Масса объема, в г	Энергия в МэВ, поглощенная в объеме при падающих энергиях E_i			
		E_1	E_2	E_3	E_4
1	0,53	55,127	8,157	2,846	0,00235
2	$1,44 \cdot 10^{-5}$	0,0553	0,02464	$3,6 \cdot 10^{-4}$	0
3	$5,81 \cdot 10^{-5}$	0,0067	0,00482	$5 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-4}$
4	$1,39 \cdot 10^{-4}$	0,01657	0,01591	$3,2 \cdot 10^{-4}$	0,00263
5	$3,98 \cdot 10^{-6}$	0,0015	$8 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$
6	$7,12 \cdot 10^{-5}$	0,0999	0,01867	0,00286	0,00113

Таблица 2

№ слоя	Доза в nanoGy, полученная объемом при падающих энергиях E_i			
	E_1	E_2	E_3	E_4
1	16,7 + - 2,4	2,47 + - 0,78	0,86 + - 0,43	0,71 + - 0,34
2	615,6 + - 358,7	274,23 + - 252,28	3,98 + - 2,71	0 + - 0
3	17,9 + - 7,9	13,28 + - 9,39	0,13 + - 0,13	2,51 + - 1,29
4	19,04 + - 11,09	18,29 + - 15,97	0,37 + - 0,27	3,01 + - 0,93
5	6,14 + - 3,38	3,24 + - 2,35	0,003 + - 0,002	0,081 + - 0,053
6	20,91 + - 8,77	4,20 + - 2,69	0,642 + - 0,359	0,26 + - 0,010

Экспериментальное значение плотности потока нейтронов для реактора РБМК-1000 составляет $F = 4 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$ [5]. Этот поток падает на площадку со всей сферы. Поэтому плотность потока с одного направления будет составлять $F_{est} = F/4 \pi$, $F_{est} = 3,18 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2} \text{ стер}^{-1}$ (полученные нами выше значения энергий и доз соответствуют плотности потока $F_M = 10^6 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2} \text{ стер}^{-1}$). Для такой плотности потока данные в табл.1 и 2 нужно умножить на $3,18 \cdot 10^6$.

Выводы

Приведенные в табл.2 дозы примерно на 2 порядка меньше, чем в табл.2 в статье [2]. Однако, как указано во Введении, для обучения нейтронами механизмов возникновения радиационных повреждений значительно больше, чем для случая облучения гамма-квантами. Поэтому рассматривать радиационную стойкость видикона на основе анализа облучения источниками гамма-квантов неверно.

Отметим, что оценка, приведенная нами, достаточно грубая. Мы не учитывали радиационную стойкость элементов материала видикона, в частности, очень важно исследовать радиационную стойкость CdSe с n^+ проводимостью. Мы считаем, что необходимы дальнейшие исследования этой проблемы.

1. Иванов В.П., Сидоркин Н.А., Старостин Ю.М., Кудрявцев В.А. Телевизионные системы контроля и наблюдения в ядерной технике // Атомная энергия. 1982. Т.52. Вып.1. С.67-69.
2. Абрамовский В.А. Исследование радиационной стойкости видикона ЦНИИ «Электрон» // Вестник НовГУ. Сер.: Техн. науки. 2016. №4(95). С.10-12.
3. Патент №2273074. Мишень видикона / Н.Б.Захарова, О.А.Тимофеев, И.И.Ятлинко. H01J29/45, H01J31/38. Заявл. 20.07.2004. Оpubл. 27.03.2006.
4. URL: 4.<http://geant4.cern.ch>
5. Беденко С.В. и др. Оценка действующего значения потока гамма-излучения в ядерных реакторах с графитовым замедлителем // Известия Томского политехн. ун-та. 2010. Т.316. №2. С.72-75.

References

1. Ivanov V.P., Sidorkin N.A., Starostin Yu.M., Kudriavtsev V.A. Televizionnye sistemy kontrolya i nabliudeniya v yadernoi tekhnike [Television systems for monitoring and control in nuclear engineering]. Atomnaya energiya – Atomic Energy, 1982, vol. 52, no. 1, pp. 67-69.
2. Abramovskii V.A. Issledovanie radiatsionnoi stoikosti vidikona TsNII «Elektron» [Investigation of radiation resistance of the vidicon by JSC “CSRI “Electron”]. Vestnik NovGU. Ser. Tekhnicheskie nauki – Vestnik NovSU. Issue: Engineering Sciences, 2016, vol. 95, no. 4, pp. 10-12.
3. Zakharova N.B., Timofeev O.A., Iatlinko I.I. Mishen' vidikona [Vidicon target]. Patent RF, no. 2273074, H01J29/45, H01J31/38, 2006.
4. Available at: <http://geant4.cern.ch>
5. Bedenko S.V. et al. Otsenka deistviushchego znacheniiya potoka gamma-izlucheniya v yadernykh reaktorakh s grafitovym zamedlitelem [Estimation of the effective value of gamma radiation in nuclear reactors with graphite delay element]. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, 2010, vol.316, no.2, pp.72-75.