

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ВИДИКОНА ЦНИИ «ЭЛЕКТРОН»

В.А.Абрамовский

## INVESTIGATION OF RADIATION RESISTANCE OF THE VIDICON BY JSC NRI «ELECTRON»

V.A.Abramovskii

*Институт электронных и информационных систем НовГУ, Victor.Abramovsky@novsu.ru*

Рассмотрены вопросы радиационной стойкости мишеней многослойных видиконов при различных энергиях налетающих гамма-квантов. Определены энергии и дозы, выделяемые в каждом слое мишени видикона. Оценено время жизни каждого из слоев мишени.

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

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

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

**Введение. Обзор радиационно стойких видиконов**

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]. Основой этих систем является видикон с мишенью на основе  $Sb_2S_3$ , трехсернистой сурьмы (стибнита). Однако, как отмечается в литературе [2], мишень  $Sb_2S_3$  обладает следующими недостатками:

- низкая световая чувствительность;
- высокая инерционность;
- зависимость чувствительности, темнового тока и его равномерности от температуры;
- спектральная характеристика не согласована со спектром источника света (максимум характеристики на  $\lambda = 550$  нм).

Мишень  $Sb_2S_3$  не пригодна для работы телевизионных камер в водных технологических растворах на ядерных энергетических установках, в которых трудно реализовать высокую интенсивность источника света из-за сильного рассеивания света в воде в диапазоне длин волн 400-500 нм.

В патенте [2] обсуждаются мишени видикона, содержащие подложку, проводящий слой, фоточувствительный слой на основе селенида кадмия  $CdSe$  и резистивный слой. Такие мишени обладают высокой световой чувствительностью, низкой инерционностью и хорошо согласованной с источником света спектральной характеристикой. Однако эти мишени на основе  $CdSe$  обладают низким отношением сигнал/шум при работе в полях ионизирующего излучения, а также при работе в полях ионизирующего излучения в условиях повышенной температуры окружающей среды. Уменьшение отношения сигнал/шум приводит к уменьшению разрешающей способности, контраста изображения и в конечном результате к снижению достоверности телевизионного осмотра и контроля.

В [2] заявляется усовершенствованная модель мишени видикона на основе  $CdSe$  с двумя резистивными слоями. Первый слой — на основе  $AsSbS_3$ , второй слой — на основе  $As_2Se_3$ , примыкающий к первому. 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.

На рисунке показана структура этой мишени. Мишень видикона содержит:

- подложку (1) из стекла марки К208 или кварца  $SiO_2$  толщиной 2 мм;
- проводящий слой (2)  $In_2O_3$  толщиной 0,02 мкм;
- фоточувствительный слой (3,4)  $CdSe$  толщиной 0,24-0,48 мкм;
- резистивный слой (5)  $AsSbS_3$  толщиной 0,04-0,1 мкм;
- резистивный слой (6)  $As_2Se_3$  толщиной 0,6-1,5 мкм.

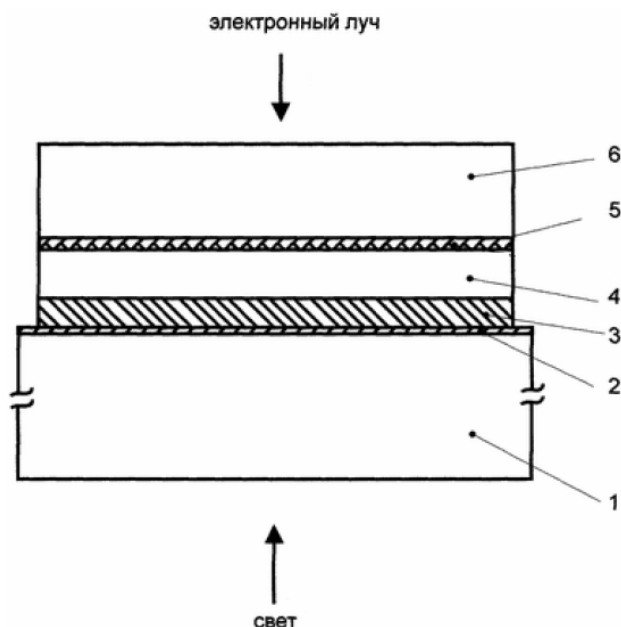
(Для видикона патента [2] слои 3 и 4 объединены, т.е. должны рассматриваться вместе.)

Однако всем известным мишеням на основе селенида кадмия ( $CdSe$ ) присущ один и тот же недостаток — наличие белых пятен (белых точечных дефектов) на изображении и большие сложности, связанные с изготовлением мишеней без белых пятен на изображении. В патенте [3] видикона ЦНИИ «Электрон» сделана попытка убрать эти дефекты.

Мишени на основе селенида кадмия относятся по физической модели к фотопроводящим мишеням с запорными контактами. Фоточувствительный слой на основе селенида кадмия имеет n-тип проводимости. При рабочих напряжениях в таких мишенях возможно ухудшение запорного контакта на границе фотопроводящего слоя и прозрачного проводящего слоя, обусловленное наличием локальных дефектов на подложке и прозрачном проводящем слое. Это приводит к локальному росту темнового тока мишеней и, тем самым, к появлению белых пятен на изображении. Это существенно снижает процент выхода види-

конов с высокими требованиями к качеству фона изображения.

Для достижения технического результата на мишени видикона, включающей подложку (1), последовательно расположенные на ней прозрачный проводящий слой (2), фоточувствительный слой на основе селенида кадмия (4) и резистивный слой (5), между проводящим слоем и фоточувствительным слоем на основе селенида кадмия вводится дополнительная прослойка (3) на основе селенида кадмия  $n^+$ -типа проводимости толщиной  $0,1 \div 0,2$  мкм



Модель мишени видикона патента [2] и видикона ЦНИИ «Электрон». Для первого случая слои (3) и (4) объединены, рассматриваются как единый слой

Экспериментально установлено, что введение дополнительной прослойки на основе CdSe  $n^+$ -типа проводимости толщиной  $0,1 \div 0,2$  мкм дает эффект

улучшения качества фона изображения при сохранении основных фотоэлектрических параметров мишени видикона. Такая дополнительная прослойка ослабляет электрическое поле на границе с прозрачным проводящим слоем, в результате чего возникновение белых точечных дефектов на изображении значительно уменьшается или полностью устраняется.

### Моделирование радиационной стойкости видикона ЦНИИ «Электрон»

В этом разделе мы приведем энергии, выделившиеся в каждом из слоев видикона ЦНИИ «Электрон» при облучении фотонами 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  $1 \text{ см}^2$  и слоями, размеры которых приведены на рисунке. В каждом слое задавалось число атомов элементов (Si, O, In, Cd, Se, As, Sb, S) в  $1 \text{ см}^3$ . В программе заложены сечения рассеяния и поглощения фотонов при заданных энергиях, учитываются перерассеяния фотонов и число фотонов, покидающих объем. Поток фотонов был направлен перпендикулярно основанию объема (1) (на рисунке со стороны падающего света). Число падающих фотонов выбиралось равным  $10^8$ . Этого числа было достаточно, чтобы исключить все флуктуации.

Образец облучался фотонами с энергиями  $E_1 = 100 \text{ КэВ}$ ,  $E_2 = 122,06 \text{ КэВ}$ ,  $E_3 = 800 \text{ КэВ}$ ,  $E_4 = 1173,2 \text{ КэВ}$  и  $E_5 = 1332,5 \text{ КэВ}$ . Выбор этих значений энергий обусловлен следующими соображениями. Энергия  $E_1$  характерна для энергетического спектра реакторов, при которой становятся заметными радиационные повреждения полупроводников. Энергия  $E_2$  — это энергия источника  $^{57}\text{Co}$ ,  $E_3$  — средняя энергия фотонов в реакторе. Энергии  $E_4$  и  $E_5$  соответствуют энергиям источника фотонов  $^{60}\text{Co}$ .

Таблица 1

| № слоя | Масса объема, в г    | Энергия в МэВ, поглощенная в объеме при падающих энергиях $E_i$ |                  |                  |                   |                   |
|--------|----------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|        |                      | $E_1$                                                           | $E_2$            | $E_3$            | $E_4$             | $E_5$             |
| 1      | 0,53                 | $1,8 \cdot 10^5$                                                | $1,9 \cdot 10^5$ | $1,1 \cdot 10^6$ | $1,27 \cdot 10^6$ | $1,3 \cdot 10^6$  |
| 2      | $1,44 \cdot 10^{-5}$ | 54,4                                                            | 32,8             | 23,1             | 31,8              | 34,6              |
| 3      | $5,81 \cdot 10^{-5}$ | 167,9                                                           | 98,0             | 77,3             | 104,8             | 117,4             |
| 4      | $1,39 \cdot 10^{-4}$ | 398,9                                                           | 243,8            | 175,5            | 242,8             | 265,5             |
| 5      | $3,98 \cdot 10^{-6}$ | 111,9                                                           | 66,5             | 54,3             | 73,1              | 82,1              |
| 6      | $7,12 \cdot 10^{-5}$ | 776,9                                                           | 486,7            | 775,0            | $1,1 \cdot 10^3$  | $1,25 \cdot 10^3$ |

Таблица 2

| № слоя | Доза в microGy, полученная объемом при падающих энергиях $E_i$ |             |             |             |             |
|--------|----------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|        | $E_1$                                                          | $E_2$       | $E_3$       | $E_4$       | $E_5$       |
| 1      | 54,5 ± 0,3                                                     | 57,4 ± 0,3  | 324,6 ± 0,2 | 385,4 ± 0,3 | 397,1 ± 0,3 |
| 2      | 605,5 ± 12,9                                                   | 364,8 ± 9,7 | 257,6 ± 4,5 | 354,1 ± 6,9 | 385,2 ± 7,4 |
| 3      | 462,9 ± 5,4                                                    | 270,2 ± 4,0 | 213,2 ± 4,0 | 289,1 ± 3,2 | 323,8 ± 3,7 |
| 4      | 458,4 ± 3,6                                                    | 280,1 ± 2,7 | 280,1 ± 2,7 | 279,0 ± 2,2 | 305,0 ± 2,3 |
| 5      | 450,5 ± 0,6                                                    | 267,9 ± 4,9 | 267,9 ± 5,0 | 294,3 ± 3,9 | №30,8 ± 4,2 |
| 6      | 174,7 ± 0,8                                                    | 109,5 ± 0,6 | 109,5 ± 0,6 | 248,0 ± 1,0 | 280,9 ± 1,2 |

Размеры слоев выбирались следующими:

- 1 слой SiO<sub>2</sub> — 2мм;
- 2 слой In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 0,02 мкм;
- 3 слой CdSe с n<sup>+</sup> проводимостью — 0,1 мкм;
- 4 слой CdSe — 0,24 мкм;
- 5 слой AsSbS<sub>3</sub> — 0,1 мкм;
- 6 слой As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> — 1,5 мкм.

Результаты моделирования приведены в табл.1.

Соответственно дозы, полученные объемами, приведены в табл.2.

В [2] заявлено, что видикон, описанный в этом патенте, выдерживает интегральную дозу гамма-излучения от источника <sup>60</sup>Co, равную 2 10<sup>8</sup> Рад (Si) без изменения темнового тока и остальных параметров.

Экспериментальное значение плотности потока фотонов для реактора РБМК-1000 составляет  $F = 4 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$  [5]. Этот поток падает на площадку со всей сферы. Поэтому плотность потока с одного направления будет составлять  $F_{st} = F/4 \pi = 4 \cdot 7,958 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2} \text{ стер}^{-1}$ . Полученные нами значения энергий и доз соответствуют плотности потока  $F_M = 10^8 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2} \text{ стер}^{-1}$ . Основной вклад в энергетический спектр РБМК-1000 дают фотоны с энергией до 2 МэВ. Для оценки мы выберем плотность потока в 40 раз меньше экспериментального значения,  $F_{est} = 7,958 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2} \text{ стер}^{-1}$ . Для такой плотности потока данные в табл. 1 и 2 нужно умножить на 795,8.

При облучении источником <sup>60</sup>Co образец облучается только с одного направления. В реакторе облучение идет со всей сферы. Поэтому для корректного сравнения дозу 2 10<sup>8</sup> Рад (Si) нужно разделить на 4 π, т.е. интегральное значение дозы будет 1,59 10<sup>7</sup> Рад (Si) стер<sup>-1</sup>. Доза в 1 Рад (Si) соответствует энергии, выделенной в 1 см<sup>3</sup> кремния, которая равна 1,45 10<sup>8</sup> МэВ см<sup>-3</sup>. Учитывая толщину каждого слоя, выбранного нами для моделирования, мы получим предельную энергию в каждом из объемов, соответствующую предельной дозе 2 10<sup>8</sup> Рад (Si).

В табл.3 приведены следующие величины:

—  $E_{est}$  — значение энергии в каждом объеме, полученное для плотности потока  $F_{est}$  при энергии налетающего гамма-кванта 1332,5 МэВ, в МэВ с<sup>-1</sup>стер<sup>-1</sup>;

—  $E_{lim}$  — предельное значение энергии в каждом объеме для дозы 2 10<sup>8</sup> Рад (Si) в МэВ стер<sup>-1</sup>;

—  $T$  — время, необходимое для того, чтобы слой набрал предельную энергию, в сек.

Таблица 3

| № слоя | $E_{est}$ ,<br>МэВ с <sup>-1</sup> стер <sup>-1</sup> | $E_{lim}$ ,<br>МэВ стер <sup>-1</sup> | $T$ , сек            |
|--------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| 1      | 1,05 10 <sup>9</sup>                                  | 4,6 10 <sup>14</sup>                  | 4,4 10 <sup>5</sup>  |
| 2      | 2,75 10 <sup>4</sup>                                  | 4,6 10 <sup>9</sup>                   | 1,67 10 <sup>5</sup> |
| 3      | 9,34 10 <sup>4</sup>                                  | 2,3 10 <sup>10</sup>                  | 2,46 10 <sup>5</sup> |
| 4      | 2,11 10 <sup>5</sup>                                  | 5,5 10 <sup>10</sup>                  | 2,6 10 <sup>5</sup>  |
| 5      | 6,54 10 <sup>4</sup>                                  | 2,3 10 <sup>10</sup>                  | 3,5 10 <sup>5</sup>  |
| 6      | 9,95 10 <sup>5</sup>                                  | 3,46 10 <sup>11</sup>                 | 3,5 10 <sup>5</sup>  |

Как видно из табл.3, предельная доза видиконом будет набрана за время порядка 10<sup>5</sup> секунд. Если учесть, что в году π 10<sup>7</sup> секунд, то время существования видикона внутри реактора составляет несколько суток.

### Выводы

Оценка, приведенная нами, достаточно грубая. Во-первых, и это самое главное, мы не оценивали влияния потоков нейтронов в реакторах. Программа GEANT-4 позволяет это сделать. Во-вторых, мы не учитывали радиационную стойкость элементов материала видикона. В частности, очень важно исследовать радиационную стойкость CdSe с n<sup>+</sup> проводимостью. Мы считаем, что необходимы дальнейшие исследования этой проблемы.

1. Иванов В.П. и др. Телевизионные системы контроля и наблюдения в ядерной технике // Атомная энергия. 1982. Т.52. Вып.1. С.67-69.
2. Патент №2145454. Мишень видикона / А.А.Никитин, М.Е.Федосовский, И.И.Ятлинко. H01J29/45, H01J31/38. Заявл. 14.04.1998. Опубл. 10.02.2000.
3. Патент №2273074. Мишень видикона / Н.Б.Захарова, О.А.Тимофеев, И.И.Ятлинко. H01J29/45, H01J31/38. Заявл. 20.07.2004. Опубл. 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. et al. Televizionnye sistemy kontrolya i nabludeniya 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. Nikitin A.A., Fedosovskii M.E., Iatlinko I.I. Mishen' vidikona [Vidicon target]. Patent RF, no. 2145454, H01J29/45, H01J31/38, 2000.
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 deistvuyushchego znacheniya 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.