

06;12

Дозиметр для оперативного контроля энергии (дозы) ядерных излучений на структуре металл (М)–газовый диэлектрик (ГД)–полупроводник (П) (М(ГД)П)

© П.Г. Кашерининов, А.Н. Лодыгин

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 15 января 1998 г.

Предлагается новый тип полупроводникового дозиметра для оперативного контроля энергии (дозы) ядерных излучений, формирующий на выходе электрический сигнал, пропорциональный непосредственно дозе падающего излучения (а не его интенсивности), с регулируемой чувствительностью к дозе этого излучения.

В [1] описан новый тип фотодетектора на структурах металл (М)–газовый диэлектрик (ГД)–полупроводник (П) (М(ГД)П), формирующий на выходе сигнал, пропорциональный энергии (дозе) падающего на его рабочую поверхность освещения. В настоящей работе исследуется возможность использования такого типа структур для создания на их основе дозиметра для оперативного измерения энергии (дозы) ядерных излучений.

Исследовались М(ГД)П-структуры со слоем воздуха в качестве газового диэлектрика на изолирующих кристаллах силиката висмута ($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$) с удельным темновым сопротивлением $\rho = 10^{12} \div 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ ($\Delta E = 3.28 \text{ eV}$), подвижностью свободных носителей $\mu_n = 2 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, временем жизни $\tau_n = 10^{-4} \text{ s}$. Для создания М(ГД)П-структуры использовались плоскопараллельные пластины с размерами $10 \times 10 \times 2 \text{ mm}$. На одной из поверхностей кристалла $10 \times 10 \text{ mm}$ располагалась пластина слюды $10 \times 10 \text{ mm}$ толщиной $l = 30\text{--}100 \mu\text{m}$ со сквозным отверстием диаметром $5\text{--}7 \text{ mm}$. Структура размещалась между стеклянными пластинками с нанесенными на их поверхности прозрачными электродами In_2O_3 . К электродам

М(ГД)П-структуры подключался источник постоянного напряжения $V_{00} = 0.6 \div 3 \text{ kV}$ (рис. 1, *a*). Приложенное напряжение в отсутствие освещения распределяется между слоями структуры в соответствии с их емкостями:

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{C_0}{C_1} = \frac{\varepsilon_0 d_1}{d_0 \varepsilon_1}, \quad (1)$$

где $V_0, C_0, \varepsilon_0, d_0$ — напряжение, приложенное к газовому слою, емкость, диэлектрическая проницаемость и толщина газового слоя соответственно; $V_1, C_1, \varepsilon_1, d_1$ — напряжение, приложенное к полупроводниковому слою структуры, емкость, диэлектрическая проницаемость и толщина этого слоя соответственно. Причем $V_0 + V_1 = V_{00}$. Напряженность электрического поля в газовом слое E_0 и кристалле E_1 при этом описываются выражениями (2), (3) соответственно:

$$E_0 = V_{00}/d_0(1/(1 + \varepsilon_0 d_1/\varepsilon_1 d_0)), \quad (2)$$

$$E_1 = V_{00}/d_1(1/(1 + \varepsilon_1 d_0/\varepsilon_0 d_1)). \quad (3)$$

На рис. 1, *a, b* представлено распределение напряженности электрического поля в кристалле BSO E_1 и газовом слое E_0 такой М(ГД)П-структуры с параметрами полупроводникового слоя $\varepsilon_1 = 40$, $d_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ и газового диэлектрика (воздуха) $\varepsilon_0 = 1$, $d_0 = 8 \cdot 10^{-5} \text{ м}$, в отсутствие освещения при $V_{00} = 2100 \text{ В}$ в соответствии с (2), (3). Как видно из рис. 1, в структуре при этом напряженность электрического поля в газовом зазоре E_0 на порядок больше, чем в кристалле E_1 ($E_0 = 1.6 \cdot 10^7 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1}$, $E_1 = 0.9 \cdot 10^6 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1}$), и близка к критической E_{cr} (E_{cr} в газовом зазоре толщиной $d_0 = 8 \cdot 10^{-5} \text{ м}$, согласно [2], $E_{cr} = 2 \cdot 10^7 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1}$). При облучении детектора созданные излучением в кристалле свободные носители соответствующего знака под действием электрического поля собираются на границе раздела кристалл–газовый слой, вызывая уменьшения напряженности электрического поля в кристалле E_1^1 и соответственно увеличение напряженности поля в газовом слое от темнового значения E_0 до критического $E_0^1 = E_{cr}$. При этом падение напряжения в газовом слое увеличится, а в кристалле уменьшится на величину $\Delta V = (E_{cr} - E_0)d_0$. Напряженность электрического поля в кристалле E_1^1 при этом определяется следующим соотношением (рис. 2, *b*):

$$E_1^1 = E_1 - (E_{cr} - E_0)d_0/d_1 \quad (4)$$

и составляет $E_1^1 = 0.75 \cdot 10^6 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1}$.

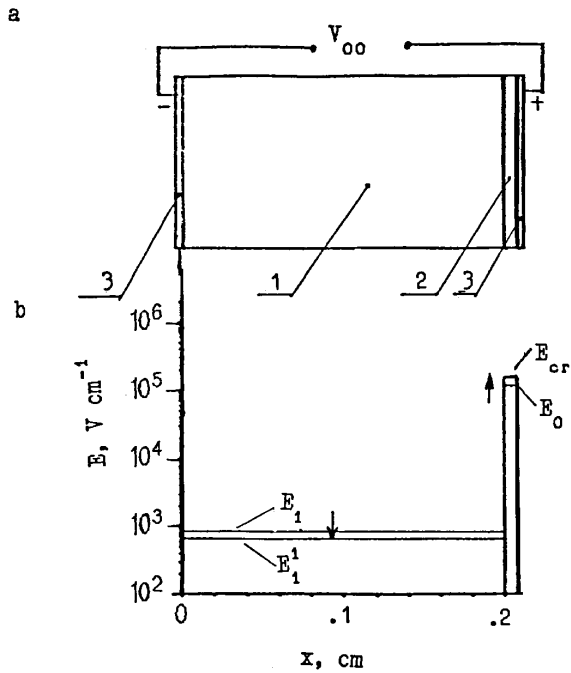


Рис. 1. Распределение напряженности электрического поля в М(ГД)П-структуре при облучении: *a* — диаграмма структуры: 1 — кристалл BSO; 2 — слой воздушного диэлектрика; 3 — оптически прозрачные электроды; *b* — распределение напряженности электрического поля в структуре в темноте (в кристалле E_1 и воздушном зазоре E_0 соответственно) и при включении облучения в последний момент перед началом газового пробоя (в кристалле $E_1 = E_1^1$ и воздушном зазоре $E_0 = E_{cr}$ соответственно).

При освещении структуры энергия электрического поля в газовом зазоре (газовом конденсаторе) увеличивается на величину ΔA :

$$\Delta A = 0.5 C d_0^2 (E_{cr} - E_0)^2 = 0.5 \varepsilon_0 d_0 (E_{cr} - E_0)^2. \quad (5)$$

Для вышеприведенной геометрии структуры при $V_{00} = 2100 \text{ V}$ ($E_0 = 1.6 \cdot 10^7 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$, $E_{cr} = 2 \cdot 10^7 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$) $\Delta A = 5.7 \cdot 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$. При $E_0^1 = E_{cr}$ в электрической цепи структуры появляется токовый импульс, обусловленный разрядом емкости некоторого участка

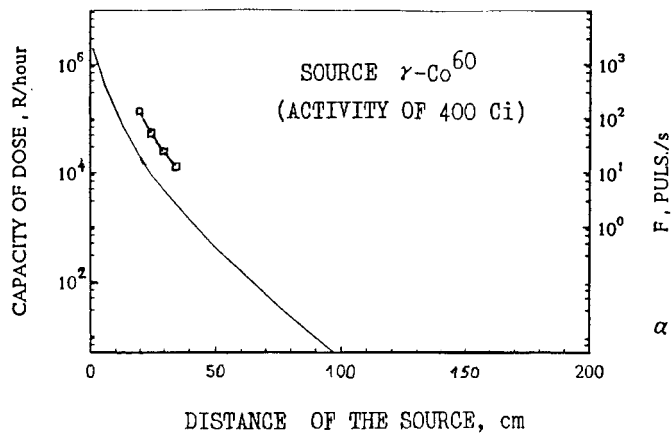


Рис. 2. Регистрация энергии (дозы) γ -излучения на источнике $\gamma - \text{Co}^{60}$ дозиметром на М(ГД)П-структуре на кристалле BSO. *a* — экспериментальная зависимость частоты токовых импульсов в цепи дозиметра от расстояния до радиоактивного источника (крестики на рисунке); сплошная линия — градуировочная кривая мощности дозы γ -излучения от расстояния до источника ($\gamma - \text{Co}^{60}$). *b* — фотографии с экрана осциллографа, иллюстрирующие форму токовых импульсов в цепи дозиметра на расстоянии $L = 0.2$ m от источника ($V_{00} = 2100$ V). *c* — то же на расстоянии $L = 0.25$ m.

поверхности газового слоя (площадью около $1-2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$) через сопротивление освещаемой части кристалла, после чего напряженность электрического поля в газовом слое уменьшается ниже критического значения, разряд прекращается, распределение напряженности поля в структуре возвращается к первоначальному состоянию, далее процесс повторяется.

Как показано в [1], стационарное облучение структуры сопровождается периодическим протеканием в цепи токовых импульсов; энергия излучения, падающая на поверхность структуры за время между двумя последовательными импульсами, определяется величиной приложенного к структуре напряжения и не зависит от интенсивности облучения.

Такие структуры испытывались в режиме работы дозиметра при облучении на источнике ($\gamma - \text{Co}^{60}$) с активностью 400 Ci, размещенном на дне бассейна, заполненного водой. Дозиметр в герметичной капсуле приближался на различные расстояния L к источнику.

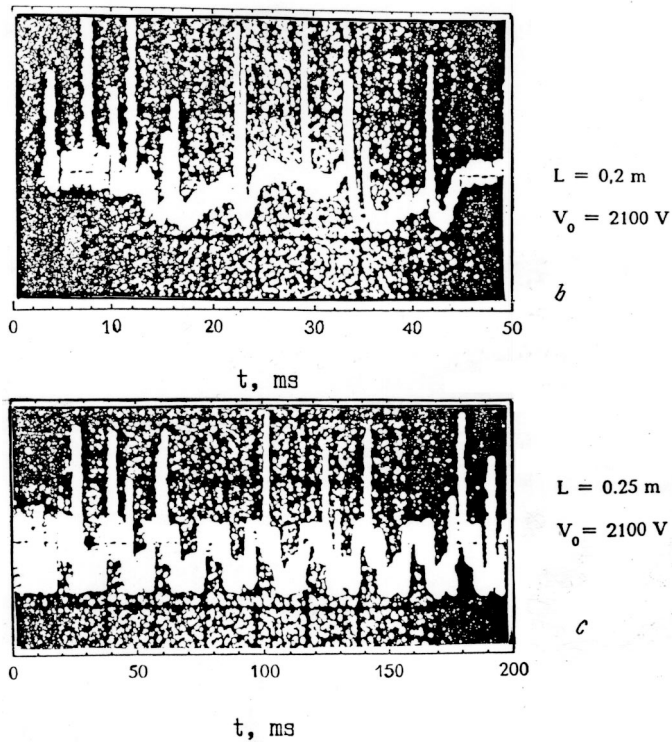


Рис. 2 (продолжение).

На рис. 2 представлены результаты по исследованию зависимости частоты токовых импульсов в цепи дозиметра F от мощности дозы. Сплошной линией на рис. 2, *a* изображена градуировочная характеристика источника, крестиками обозначены экспериментальные точки, соответствующие частоте токовых импульсов дозиметра F при $V_0 = 2100 \text{ V}$ на различных расстояниях от радиоактивного источника L . Как видно из рис. 2, *a* экспериментальная зависимость $F(L)$ параллельна градуировочной кривой, что свидетельствует о линейной зависимости частоты импульсов от мощности дозы излучения $F(B)$ в исследованном диапазоне L . На рис. 2, *b, c* представлены фотографии с экрана осциллографа, иллюстрирующие форму токовых импульсов на расстоянии $L = 0.2 \text{ m}$ (*b*) и $L = 0.25 \text{ m}$ (*c*) от источника. Зафиксирована возможность регистрации излучения дозиметром на кристалле BSO в диапазоне мощности

доз $B = 3 \cdot 10^{-2} - 3 \cdot 10^3$ R/s. Доза излучения, регистрируемая дозиметром за время между импульсами при этом напряжении, составляет, согласно этим фотографиям, $C = (3 - 4) \cdot 10^{-2}$ Rentgen (R).

Таким образом, на базе М(ГД)П структур на широкозонных изолирующих кристаллах могут быть реализованы нового типа дозиметры радиоактивных излучений, позволяющие оперативно регистрировать энергию (дозу) излучения на объектах с высоким радиационным фоном.

Предлагаемый тип дозиметров:

1) позволяет регистрировать непосредственно энергию (дозу) падающего излучения;

2) позволяет в широких пределах изменять их чувствительность к энергии (дозе) излучения путем изменения величины приложенного напряжения;

3) может быть использован для регистрации энергии (дозы) радиоактивного излучения при больших мощностях дозы $B = (10^{-2} - 10^3$ R/s);

4) обладает высокой радиационной стойкостью из-за использования сильно компенсированных кристаллов с концентрацией примесных уровней $N > 10^{17} \text{ cm}^{-3}$;

5) обладает высоким соотношением сигнал-шум, что позволяет отказаться от радиационно-нестойкой электроники в месте расположения дозиметра;

6) может быть реализован на кристаллах с малыми значениями параметра $\mu\tau > 10^{-7} \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1}$ (новые широкозонные материалы, низкокачественные кристаллы);

7) обладает высокой универсальностью, позволяющей использовать такого типа дозиметры для регистрации энергии широкого спектра излучений от жесткого γ -излучения до света;

8) может быть использован в качестве датчиков автоматических дозных затворов, пропускающих фиксированные дозы энергии регистрируемого излучения независимо от его интенсивности;

9) прост по конструкции, удобен в эксплуатации из-за выдачи информации о радиационной обстановке в импульсном коде.

Список литературы

- [1] *Kasherininov P.G., Lodygin A.N.* // Tech. Phys. Lett. February. 1997. V. 23 (2). P. 137-139.
- [2] *Богородицкий Н.П., Пасынков В.В.* // Материалы в радиоэлектронике. М.: Госэнергоиздат, 1961. 352 с.