

ДЕТЕКТОРЫ γ - ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ ПРИРОДНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ

Н.М. Казючиц¹⁾, М.С. Русецкий¹⁾, А.С. Шуленков²⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет, 220030 г. Минск, пр. Независимости, 4

²⁾ УП Минский НИИ Радиоматериалов, 220024, г. Минск, ул. Кижеватова, 86

Kazuchits@bsu.by, rusetsky@bsu.by, shulenkoy@tut.by

Синтетические кристаллы алмаза, полученные при высоких температуре и давлении, и кристаллы природного алмаза тестировались как детекторы γ -излучения от ^{137}Cs источника. Были исследованы такие интересные для дозиметрии свойства, как чувствительность, доза предварительного облучения, зависимость чувствительности от мощности дозы. Дозиметры на основе синтетического алмаза характеризуются достаточной чувствительностью и, близкой к линейной, зависимостью тока от дозы, но стабилизируются после большой дозы предварительного облучения.

Введение

Безазотные кристаллы природных алмазов типа IIa могут быть использованы для создания детекторов ядерных излучений [1]. Однако такие кристаллы очень редко встречаются в природе и не каждый из них пригоден для детектирования. Для изготовления эффективных приборов, помимо низкого содержания примеси азота, требуется дополнительный отбор кристаллов по параметрам, определяющим функционирование детектора [2]. Таким образом, производство детекторов ядерных излучений на основе природных кристаллов алмаза сталкивается с проблемой отбора исходного сырья и, как следствие этого, с проблемой высокой себестоимости продукции.

Альтернативой природным алмазам могут быть синтетические монокристаллы алмаза типа Ib, выращенные при высоких температуре и давлении в расплавах металлов-катализаторов [3]. Формой и примесно-дефектным составом синтетических алмазов можно управлять в известных пределах. Концентрация азота в синтезированных таким образом алмазах, как правило, на один-два порядка выше, чем в природных алмазах типа IIa. Кроме того, азот преимущественно находится в узлах кристаллической решетки алмаза, замещая атомы углерода. Наряду с повышенной концентрацией азота такие синтетические алмазы содержат примеси бора и металлов-катализаторов [4]. В тоже время структура кристаллической решетки синтетических монокристаллов алмаза более совершенна, чем у природных. Об этом свидетельствуют результаты исследования дифракции рентгеновских лучей [5]. Таким образом, вопрос пригодности или непригодности синтетических алмазов для детекторов ядерных излучений является не столь очевидным.

В данной работе приведены результаты предварительных исследований алмазных детекторов на основе природного и синтетического сырья. Сравнивались основные характеристики одинаково изготовленных тестовых структур при их облучении γ - квантами ^{137}Cs .

Основная часть

Образцы синтетических алмазов представляли собой полированные плоскопараллельные пластинки толщиной 400÷500 мкм, с суммарной концентрацией азота в C- и A- формах

$(1,5\div2,2)\cdot 10^{19}\text{ см}^{-3}$. Пластина природного алмаза толщиной 360 мкм с концентрацией азота в A-форме $8\cdot 10^{17}\text{ см}^{-3}$ использовались в качестве контрольной.

Для формирования контактов в обе поверхности пластин проводилась полиэнергетическая имплантация ионов бора с граничными энергиями 25, 36, 52, 71 и 95 кэВ, дозой $2\cdot 10^{16}\text{ см}^{-2}$ с последующим отжигом при $T = 1600^\circ\text{C}$ в течение 60 минут в вакууме 10^{-4} Па. Образующийся при отжиге графит на поверхности кристаллов, удалялся травлением в растворе дихромата калия в серной кислоте. На имплантированные поверхности напылился алюминий толщиной 0,5 мкм. Контакт к одной из поверхностей являлся серебряная паста, с помощью которой кристалл крепился в корпусе. Ко второй приваривалась алюминиевая проволока. Внешний вид тестовой структуры представлен на вставке рисунка 1, где приведена зависимость тока, протекающего через образец, от приложенного напряжения.

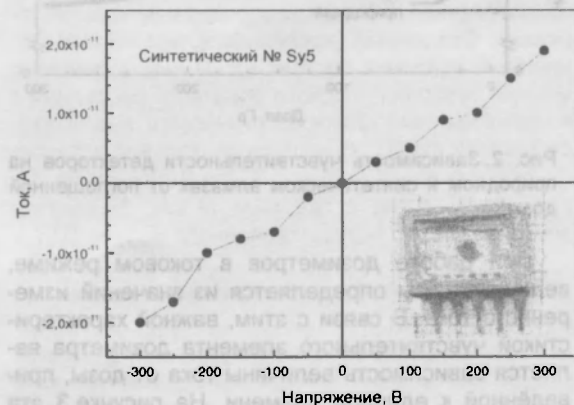


Рис. 1 ВАХ детектора на основе синтетического алмаза. На вставке приведен внешний вид тестовой структуры

Вольтамперные характеристики (ВАХ) детекторных структур на природных и синтетических кристаллах алмаза практически не отличались. Типичные ВАХ линейны в диапазоне прикладываемых напряжений от -300 до +300 В. Сопротивление образца соответствует $1\div2\cdot 10^{13}$ Ом. Величина тока утечки в условиях реальной эксплуатации алмазных детекторов (~ 100 В) составляет единицы пА.

На рисунке 2 приведена чувствительность тестовых структур в зависимости от поглощенной дозы γ -квантов ^{137}Cs . Мощность дозы облучения составляла 4,1 Гр/мин, напряжение смещения – 20 В. Чувствительность тестовой структуры на синтетическом алмазе приблизительно в 80 раз ниже, чем в контрольной, изготовленной на основе природного алмаза типа IIa. С ростом поглощенной дозы чувствительность обеих структур уменьшается, что характерно для алмазных детекторов и обусловлено электрической поляризацией [1, 6]. Поляризация проявляется вследствие захвата ловушками носителей заряда и образования пространственного заряда в объеме кристалла. Электрическое поле заряда направлено противоположно внешнему приложенному и возрастает со временем облучения по мере заполнения ловушек. После заполнения ловушек устанавливается стабильный уровень чувствительности. Как видно из рисунка, стабилизация чувствительности в детекторной структуре на природном кристалле происходит на уровне 330 нКл/Гр после накопления дозы около 30 Гр. Для синтетических кристаллов потребовалось приблизительно в 10 раз большая доза для стабилизации чувствительности детектора на уровне 3,9 нКл/Гр.

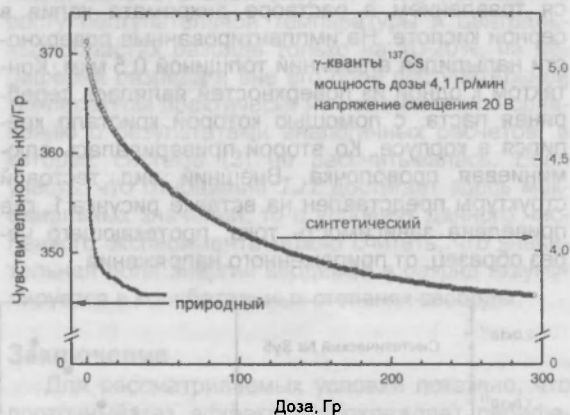


Рис. 2. Зависимость чувствительности детекторов на природном и синтетическом алмазах от поглощенной дозы.

При работе дозиметров в токовом режиме, величина дозы определяется из значений измеренного тока. В связи с этим, важной характеристикой чувствительного элемента дозиметра является зависимость величины тока от дозы, приведенной к единице времени. На рисунке 3 эта зависимость представлена для детекторов из природного и синтетического сырья. Для обеих детекторных структур зависимость тока от мощности дозы близка к линейной и может быть описана эмпирическим выражением [6]:

$$i = i_r + RD^\Delta, \quad (1)$$

где i – ток детектора, i_r – ток детектора в отсутствие облучения (темновой ток), D – мощность дозы, R и Δ – подгоночные параметры. Для случая облучения электронами или протонами в интервале энергий 4-25 МэВ параметр $\Delta = 0,963$ [6]. Экспериментальные данные, приведенные на рисунке 3 лучше всего описываются зависимо-

стью (1) при значении коэффициента $\Delta = 0,834$ для природного алмаза, а для синтетического – $\Delta = 1,056$.

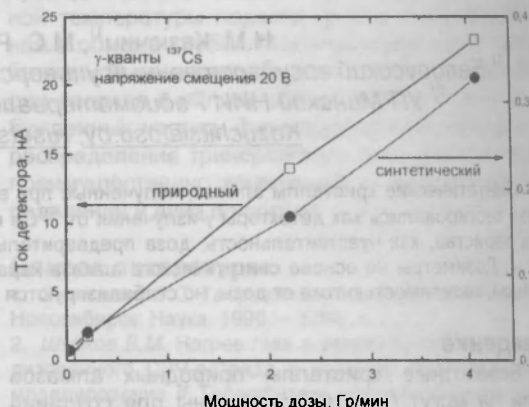


Рис. 3. Зависимость тока от мощности дозы для детекторов на природном и синтетическом алмазах

Скорость дрейфа носителей заряда возрастает с ростом напряженности приложенного электрического поля. Вследствие этого возрастает и сбор носителей заряда между контактом детектора, что отразится в увеличении чувствительности. Таким образом, поднять чувствительность детекторов можно повышая напряжение смещения. Учитывая то, что скорость дрейфа носителей заряда в алмазе выходит на насыщение при напряженностях электрического поля больше 10^5 В/см целесообразно работать при напряжениях смещения порядка 1 В на 1 мкм толщины чувствительного элемента.

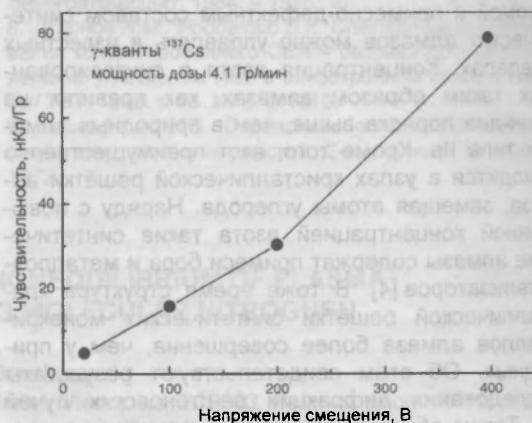


Рис. 4. Зависимость чувствительности детектора на синтетическом алмазе от напряжения смещения

На рисунке 4 приведена зависимость чувствительности детекторной структуры на основе синтетического алмаза от приложенного напряжения смещения. Как видно, чувствительность растёт сверхлинейно с ростом напряжения смещения на участке от 0 до 400 В и может быть увеличена в десятки раз, приближаясь к чувствительности детекторов на природных алмазах.

Заключение

Сопоставление основных характеристик одинаково изготовленных детекторов из природного

и синтетических алмазов показало принципиальную возможность применения последних в дозиметрии γ -квантов. Чувствительность детекторов на основе синтетического алмаза может быть приближена к природным подбором напряжения питания. В тоже время детектор из синтетического алмаза менее стабилен вследствие большого количества ловушек. Возможно, эта проблема будет решена путем отбора исходных кристаллов. О необходимости такой селекции синтетических кристаллов сообщалось в [3].

Список литературы

1. Козлов С.Ф. Алмазные детекторы ядерных излучений. Алмаз в электронной технике // отв. ред. В.Б. Квасков – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 248 с.
2. Плотникова С.П. Классификация и отбор природных алмазов для электронной техники. Алмаз в электронной

технике // отв. ред. В.Б. Квасков – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 248 с.

3. B. Marczewska, T. Novak, P. Olko, W. Gajewski, Yu. Pal'yanov, I. Kupriyanov, M.P.R. Waligorski Synthetic diamonds as active detectors of ionising radiation. Diamond and Related Materials 2004, V.13, P.918-922
4. Мудрый А.В., Ларионова Т.П., Шакин И.А., Гусаков Г.А., Дубров Г.А., Тихонов В.В. Оптические свойства монокристаллов синтетических алмазов. Физика и техника полупроводников, 2004, т.38, вып.5, с.538-542.
5. H. Maetaa, N. Matsumoto, K. Harunac, T. Saotomec, F. Onod, H. Sugaie, H. Ohtsukae, K. Ohashic The characterization of synthetic and natural single crystal diamonds by X-ray diffraction. Physica 2006, V.B 376–377, P.283–287
6. W.U. Laub, T.W. Kaulich and F. Nusslin A diamond detector in the dosimetry of high-energy electron and photon beams. Phys. Med. Biol. 1999, V.44, P.2183-2192.

GAMMA-DETECTORS BASED ON THE NATURAL AND SYNTHETIC DIAMONDS

N. Kazuchits*, M. Rusetskiy*, A. Shulenkoy**

*Belarussian State University, 220030 Minsk, Belarus.

** UP Minskii NII Radiomaterialov 220024 Minsk, Belarus

Kazuchits@bsu.by, rusetskiy@bsu.by, shulenkoy@tut.by

Synthetic diamond crystals produced by the high pressure high temperature method and natural diamonds were tested as detectors of gamma-rays from ^{137}Cs source. Properties of dosimetric interest such as sensitivity, pre-irradiation dose, dose rate dependence have been investigated. Synthetic diamond-based dosimeter has demonstrated sufficient sensitivity and good linearity of the response with irradiation dose. But the synthetic diamond-based dosimeter reaches stability after a high pre-irradiation dose.