

НОВЫЙ РАДИАЦИОННО-СТОЙКИЙ ПЛАСТМАССОВЫЙ СЦИНТИЛЛЯТОР UPS-98RH ДЛЯ АДРОННЫХ КАЛОРИМЕТРОВ

*В.Г. Сенчишин, В.Н. Лебедев, Н.П. Хлапова, А.Ф. Ададуров
ИСМА НТК «Институт монокристаллов» НАН, г. Харьков, Украина*

Представлен новый радиационно-стойкий пластмассовый сцинтиллятор (ПС) UPS98RH на основе полистирола с добавлением пластификатора, выполняющего функцию усилителя диффузии кислорода и продуктов радиолиза в полистирольной матрице. Проведена серия экспериментов по облучению различных типов ПС при разных дозах и мощностях доз. Облучение проводилось гамма-излучением до дозы 10 Мрад при мощности дозы 0,02 и 2 Мрад/ч. Наблюдалась сильная зависимость степени радиационных повреждений от мощности дозы. Показано, что новый радиационно-стойкий сцинтиллятор UPS-98RH, разработанный в НТК «Институт монокристаллов», имеет наибольшую радиационную стойкость по сравнению с известными ПС - SCSN-81T (Kuraray, Япония), BC-408 (Bicron, США), UPS923A (Amcrys-H, Украина) и не чувствителен к эффектам мощности дозы. Это качество позволило использовать сцинтиллятор UPS98RH в критических зонах детектора CMS.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее исследование выполнено в связи с изготовлением сцинтилляционных детектирующих пластин (тайлов) для торцевого адронного калориметра (Hadron Endcap (HE)) детектора CMS [1]. Отдельные тайлы расположены вблизи оси пучка, где интенсивность частиц велика и соответственно велики дозовые нагрузки. За 10 лет работы CMS-детектора суммарная доза достигает 10 Мрад при средней мощности дозы (МД) 1 Мрад/год или 0,0001 Мрад/ч.

В НТК «Институт монокристаллов» разработан новый радиационно-стойкий сцинтиллятор UPS98RH. Отличительной особенностью UPS98RH является присутствие в его составе пластифицирующей добавки, выполняющей функцию усилителя диффузии. В таком пластмассовом сцинтилляторе (ПС) радиационные повреждения быстро восстанавливаются уже в процессе облучения благодаря многократно ускоренной диффузии продуктов радиолиза и кислорода.

ЭКСПЕРИМЕНТ. ОБРАЗЦЫ

Исследовались сцинтилляторы SCSN-81T (Kuraray, Япония), BC-408 (Bicron, США), UPS923A (Amcrys-H, Украина) и сцинтиллятор с пластификатором UPS98RH (Amcrys-H, Украина).

Были изготовлены образцы в виде стрипов 9×20×200 мм и прямоугольных тайлов 4×125×125 мм. Все грани стрипов полировались до оптической чистоты.

Тайлы вырезались из 4 мм пластин и имели для световода канавку стандарта CMS типа «замочная скважина». В качестве спектросмещающих световодов (WLS-fiber) использовалось оптическое волокно Y11 фирмы Kuraray с полированными торцами.

На стрипах исследовалось влияние гамма-излучения на техническую и объемную длину ослабле-

ния (TAL и BAL) и коэффициент внутреннего отражения R, на тайлах – на световыход.

ИЗМЕРЯЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Техническая длина ослабления (TAL) измерялась в режиме постоянного тока с ФЭУ типа Hamamatsu R1307. Для возбуждения использовался бета-источник ⁹⁰Sr с 6 мм коллиматором. С целью увеличения точности измерений дальний от ФЭУ торец стрипа зачернялся.

Объемная длина ослабления (BAL) и коэффициент внутреннего отражения R измерялись на пучке лазера на парах кадмия с длиной волны 441 нм.

Световыход системы тайл/WLS-fiber измерялся на космических мюонах по стандартной схеме. Световод Y11 не облучался, задний торец не зазеркаливался.

ОБЛУЧЕНИЕ

Образцы облучались гамма-излучением радионуклида ⁶⁰Co дозами 3 и 10 Мрад при мощности дозы (МД) 0,02 Мрад/ч на установке «Исследователь» Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина и тормозным излучением пучка ускорителя электронов с энергией 20 МэВ с мощностью дозы 2 Мрад/ч в НТЦ ХФТИ. Дозиметрия осуществлялась водоеквивалентными пленочными детекторами с погрешностью ±10%. Все эксперименты выполнены на воздухе при температуре 20°C.

РЕЗУЛЬТАТЫ.

ОБЪЕМНАЯ ДЛИНА ЗАТУХАНИЯ (BAL)

На рис. 1 приведена зависимость объемной длины затухания (BAL) от продолжительности выдержки после облучения стрипов дозой 10 Мрад при мощности дозы 0,02 Мрад/ч.

Сразу после облучения у всех образцов ПС, кроме UPS98RH, наблюдается сильное окрашивание в желтый цвет. При этом все образцы имели приповерхностную зону просветления. В сцинтилляторе

UPS98RH эта зона не наблюдалась ни сразу после облучения, ни в период восстановления.

Как видно из рис. 1, в результате облучения BAL образцов SCSN-81T, BC-408, UPS923A уменьшается более чем на порядок (от 150 см до примерно 1...2 см). Уменьшение BAL образцов UPS98RH оказалось наименее значительным – от 170 до 17 см. В течение первых 30 дней после облучения происходит некоторое восстановление BAL, а затем прозрачность всех стрипов начинает снова уменьшаться.

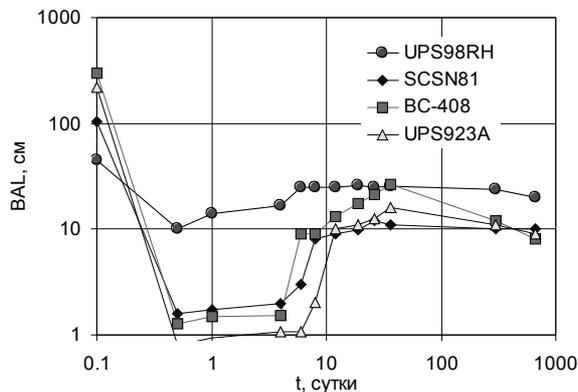


Рис. 1. Зависимость BAL от времени отжига после облучения дозой 10 Mrad при мощности дозы 0.02 Mrad/ч

На рис. 2 показана зависимость TAL стрипов от дозы облучения.

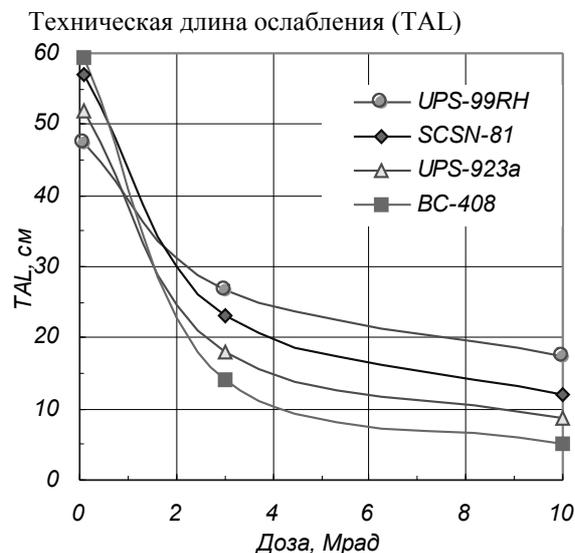


Рис. 2. Зависимость TAL от дозы облучения при мощности дозы 0.02 Mrad/ч после выдержки 270 сут

До облучения наименьшее значение TAL было у стрипа из UPS98RH. Но после облучения при дозе более 2 Mrad значение TAL этого стрипа, наоборот, оказалось самым большим. После облучения более высокой дозой – 10 Mrad техническая длина ослабления UPS98RH составляет 17,5 см, т.е. примерно в полтора раза больше, чем у SCSN-81 и в три раза

больше, чем у BC-408. Такое резкое снижение TAL при 10 Mrad у BC-408 (всего 5 см) может быть связано либо с уменьшением объемной прозрачности сцинтиллятора (т.е. пожелтением), либо с ухудшением отражательной способности его поверхности. Для выяснения вклада каждого из этих факторов были выполнены измерения зависимости BAL и коэффициента внутреннего отражения R от дозы облучения.

На рис. 3 приведена зависимость BAL от дозы облучения для тех же стрипов. При дозе 10 Mrad значения BAL сцинтилляторов SCSN-81T, BC-408 и UPS923A становятся близкими (около 10 см), за исключением сцинтиллятора с пластификатором UPS98RH, у которого BAL почти в 2 раза больше (24 см).

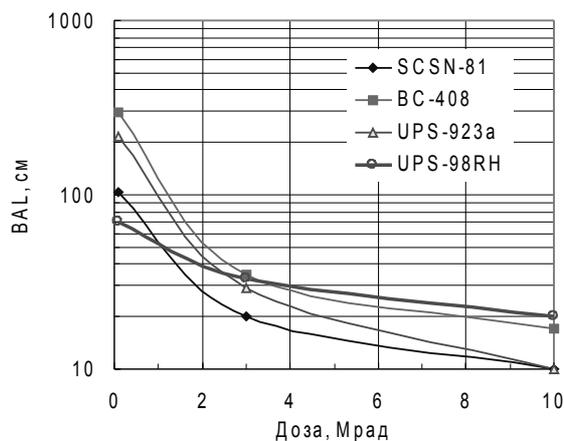


Рис. 3. Зависимость BAL от дозы облучения (мощность дозы 2 Mrad/ч) после отжига в течение 30 дней

На рис. 4. представлена зависимость коэффициента внутреннего отражения R от дозы облучения для тех же образцов.

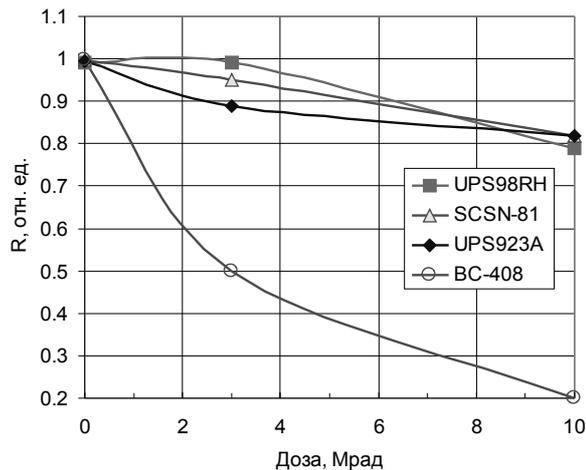


Рис. 4. Зависимость коэффициента внутреннего отражения R под углом 5° от дозы при мощности дозы 0,02 Mrad/ч после отжига 670 сут

Измерения выполнены через 670 сут после облучения. Привлекает внимание резкое ухудшение от-

ражающей способности даже необлученного образца ВС-408 ($R = 0,17$), что можно объяснить появлением трещин серебра. Признаки серебрения наблюдались даже на необлученных образцах ВС-408 уже через несколько месяцев после снятия защитного фирменного покрытия. Сразу после облучения дозой 10 Мрад на поверхности образцов ВС-408 невооруженным глазом можно было наблюдать трещины серебра. Через 670 дней у сцинтиллятора с пластификатором UPS98RH, облученного дозой 10 Мрад, коэффициент отражения R также уменьшается и становится равным 0,62. На поверхности этих образцов возникает матовая пленка светло-коричневого цвета.

В то же время коэффициенты внутреннего отражения остальных образцов меняются незначительно. Таким образом, ухудшение TAL сцинтиллятора ВС-408 связано не столько с уменьшением объемной длины затухания (пожелтением), а в основном с ухудшением отражательной способности его поверхности в результате возникновения микротрещин серебра.

На рис. 5 показана зависимость световыхода тайлов от дозы облучения.

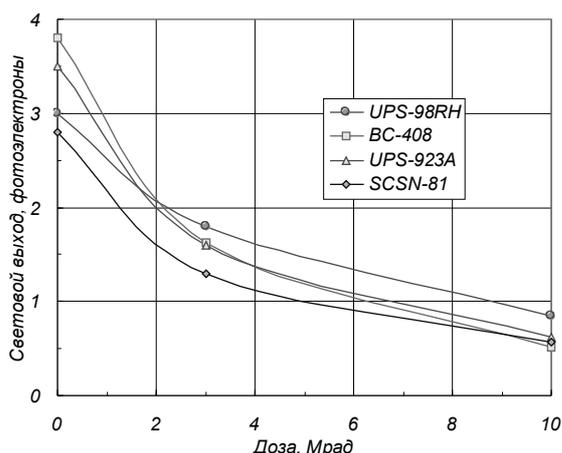


Рис. 5. Зависимость светового выхода системы тайл-световод от дозы облучения. Измерено через 270 дней после облучения

При дозе 10 Мрад световыход всех тайлов уменьшился почти в 8 раз. При этом световыход тайла UPS-98RH оказался в 1,4 раза больше, чем у тайла ВС-408.

ЭФФЕКТ МОЩНОСТИ ДОЗЫ

Как уже было отмечено, при работе CMS ожидаемая мощность дозы составит 10 Мрад за 10 лет, что составляет 1 Мрад/год или 0,0001 Мрад/ч. Это вызывает существенные затруднения при исследовании радиационной стойкости, так как необходимо учитывать влияние мощности дозы, потому что для ускорения испытаний используются мощности доз на 3-5 порядков выше. Эффект мощности дозы ранее исследовался в работе [2], в которой показано, что при естественной (равновесной в воздухе) кон-

центрации кислорода в полимерных сцинтилляторах (ПС) происходит более эффективное образование устойчивых центров окраски (не отжигающихся со временем). Полученные в этой работе данные приведены на рис. 6 в виде зависимости BAL от мощности дозы для сцинтилляторов SCSN-38, SCSN-81 и ВС-499-35.

Из рисунка видно, что для ВС-499 при уменьшении мощности дозы на два порядка BAL уменьшается на порядок, а для SCSN81 всего лишь в два раза. На основании этих данных можно сделать вывод, что эффект мощности дозы значителен и различен для разных типов сцинтилляторов. Поэтому нами были проведены эксперименты по исследованию зависимости BAL от мощности дозы для других сцинтилляторов.

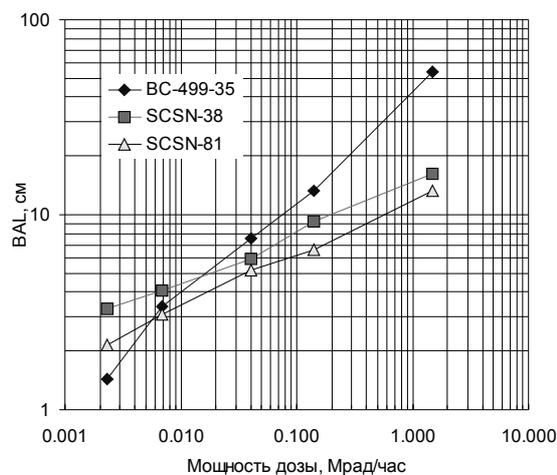


Рис. 6. Зависимость BAL от мощности дозы при дозе облучения 10 Мрад. Измерения проводились после 7-дневного отжига

На рис. 7 приведена зависимость BAL от мощности дозы для стрипов, облученных дозой 10 Мрад. Измерения выполнены через 670 дней после облучения. Качественно эти результаты хорошо согласуются с данными работы [2]. Необычным является отсутствие зависимости BAL от мощности дозы для стрипа из UPS98RH.

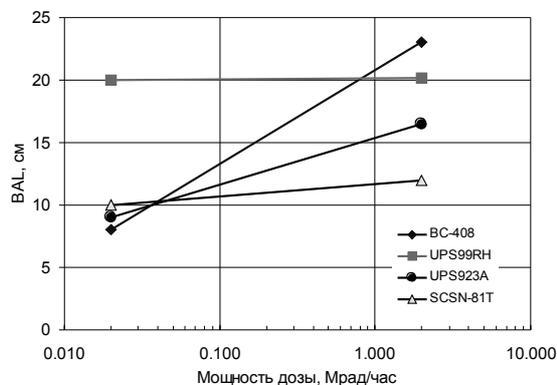


Рис. 7. Зависимость BAL от мощности дозы при дозе облучения 10 Мрад. Измерения проводились после 670-дневного отжига

Этот эффект, как и отмеченный выше эффект отсутствия зоны просветления у этого сцинтиллятора, вызван присутствием пластификатора. Пластификатор – это вещество, не взаимодействующее с полистирольной матрицей, которое во много раз усиливает диффузию продуктов радиолитического распада. Поэтому такие пластификаторы называют также усилителями диффузии.

Благодаря усилителю диффузии сцинтиллятор UPS98RH имеет более высокую радиационную стойкость по сравнению с известными коммерческими пластмассовыми сцинтилляторами.

ВЫВОДЫ

1. Во всех исследованных ПС, за исключением UPS98RH, наблюдалась сильная зависимость степени радиационных повреждений от времени облучения, т.е. от мощности дозы.

2. Новый радиационно-стойкий сцинтиллятор UPS-98RH имеет наибольшую радиационную стойкость по сравнению SCSN-81T (Kuraray, Япония), BC-408 (Bicron, США), UPS923A (Amcryst-H, Украина) и нечувствителен к эффектам мощности дозы.

3. Изменение световых выходов тайлов UPS98RH при дозе облучения 10 Мрад и мощности дозы 0,02 Мрад/ч оказалось в 1,4 раза меньше, чем у тайла BC-408. Это качество позволило использовать сцинтиллятор UPS98RH в критических зонах детектора CMS.

ЛИТЕРАТУРА

1. *The Compact Muon Solenoid*. Technical Proposal. CERN/LHCC 94-38. LHCC/P-1, 15 December 1994.

2. E. Biagtan, E. Goldberg, J. Harmon, and R. Stephens. Effect of gamma radiation dose rate on the light output of commercial polymer scintillators // *Nuclear Instruments & Methods*. 1994, v. B93, p. 296–301.

НОВИЙ РАДІАЦІОННО-СТІЙКИЙ ПЛАСТМАСОВИЙ СЦИНТИЛЯТОР UPS-98RH ДЛЯ АДРОННИХ КАЛОРИМЕТРІВ

В.Г. Сенчишин, В.Н. Лебедев, Н.П. Хлапова, А.Ф. Ададуров

Представлено новий радіаційно-стійкий пластмасовий сцинтилятор (ПС) UPS98RH на основі полістиролу з додаванням пластифікатора, що виконує функцію підсилювача дифузії кисню і продуктів радіолізу в полістирольній матриці. Проведено серію експериментів по опроміненню різних типів ПС при різних дозах і потужностях доз. Спостерігалася сильна залежність ступеня радіаційних ушкоджень від потужності дози. Опромінення проводилося гамма-випромінюванням до дози 10 Мрад при потужності дози 0,02 і 2 Мрад/годину. Показано, що новий радіаційно-стійкий сцинтилятор UPS-98RH, розроблений у НТК "Інститут монокристалів", має найбільшу радіаційну стійкість у порівнянні з відомими ПС - SCSN-81T (Kuraray, Японія), BC-408 (Bicron, США), UPS923A (Amcryst-H, Україна) і нечуттєвий до ефектів потужності дози. Ця якість дозволила використовувати сцинтилятор UPS98RH у критичних зонах детектора CMS.

NEW RADIATION HARD PLASTIC SCINTILLATOR UPS-98RH FOR HADRON CALORIMETER

V.G. Senchysyn, V.N. Lebedev, N.P. Khalapova, A.F. Adadurov

A new radiation hard plastic scintillator (PS) UPS98RH based on polystyrene with addition of plasticizer playing role of diffuse enhancer of oxygen and radiolysis products in the polystyrene matrix. A series of experiments were conducted on irradiation of different types of PS under different doses and dose rates. A strong dependence have been observed of radiation damages level on dose rate. Irradiation was made by gamma radiation up to 10 Mrad doses under 0.02 and 2 Mrad/hour dose rates. It is shown that the new radiation hard scintillator UPS98RH, developed in Institute for scintillating materials have the most radiation hardness compared to known PS – SCSN-81T (Kuraray, Japan), BC-408 (Bicron, USA), UPS923A (Amcryst-H, Ukraine) and insensible to dose rate effects. This attribute allowed scintillator UPS98RH using in critical zones of the CMS detector.