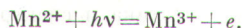


Радиационный выход Mn^{3+} в дозиметрических стеклах

В. М. ТРОФИМОВ; Д. Г. ГАЛИМОВ, И. Н. ДОБРЕЦОВА,
Н. Ф. ОРЛОВ, Д. М. ЮДИН

УДК 621.387.46:621.386.82:535.345.1

Одной из задач дозиметрии мощных потоков γ -излучения и электронов является разработка дозиметров-«свидетелей» на диапазон доз до $3 \cdot 10^8$ Mr при температурах от -200 до $200^\circ C$. Перспективным материалом для дозиметрии такого типа служит стекло [1]; в частности, как показали последние исследования, фосфатное стекло с различными активаторами, создающими полосу наведенного поглощения (ПНП) под воздействием ионизирующих излучений. Дозы γ -излучения и электронов измеряются по изменению интенсивности ПНП. В фосфатных стеклах наиболее подходящим активатором, имеющим ПНП с $\lambda_m = 560$ нм, стойкую к воздействию повышенных температур ($400^\circ C$), служит марганец [2]. Ответственной за образование указанной ПНП является реакция



Нестабильные дырочные центры [3, 4], образующиеся на неместимых атомах кислорода в узлах пятивалентного фосфора, приводят к появлению в основе стекла ПНП, частично перекрывающейся с ПНП Mn^{3+} .

В результате конкурирующего действия марганца при сравнительно небольших его концентрациях ПНП основы подавляется. С целью выбора оптимальной исходной концентрации марганца в фосфатных стеклах, создающего стабильную ПНП, проведено изучение радиационного выхода Mn^{3+} . Исследовалось два состава стекол, основы которых представляют натрий-кальциевый 0157 и калий-кальциевый 0160 метафосфаты.

При облучении в стекле 0160 ПНП проявляется с большей интенсивностью, чем в стекле 0157. В указанных основы в качестве активатора вводился Mn^{2+} в следующих концентрациях: 0,2; 0,4; 0,8 и 2 мол. % сверх 100 мол. %.

На рис. 1 представлена зависимость интенсивности ПНП с $\lambda_m = 560$ нм от концентрации Mn^{2+} для стекол 0157 (пунктирная кривая) и 0160 (сплошная кривая). Как видно из рисунка, в стекле 0157 ПНП основы практически полностью подавляется при концентрациях $Mn^{2+} > 0,2$ мол. % (интенсивность ПНП растет с увеличением концентрации Mn^{2+}). В стекле 0160 ПНП основы подавляется лишь при концентрациях $Mn^{2+} > 0,8$ мол. %; при концентрациях $Mn^{2+} < 0,8$ мол. % ΔS больше, чем при концентрациях $Mn > 0,8$ мол. %, так как процесс окраски складывается из двух процессов: окраска на дырочных центрах основы и окраска на ионах Mn^{3+} , причем первый процесс более интенсивен.

Из рис. 1 следует, что максимальный радиационный выход ионов Mn^{3+} следует ожидать при концентрациях марганца $\sim 0,8$ мол. %.

Данные ЭПР-исследований подтверждают наличие максимума радиационного выхода ионов Mn^{3+} при указанной концентрации активатора в стекле 0160 (рис. 2). Измерения количества Mn^{3+} , образовавшегося в процессе облучения стекол, проводились по разнице амплитуды сигналов ЭПР от ионов Mn^{2+} до и после облучения. Количество ионов Mn^{3+} растет с увеличением концентрации активатора до 0,8 мол. %, а затем наблюдается тенденция к его уменьшению. Указанное явление объясняется тем, что марганец, по-видимому, может входить в сетку стекла двумя способами.

При небольших концентрациях образуются изолированные центры Mn^{2+} , на которых замыкаются процессы миграции дырок в основе. Из-за неравномерного распределения активатора при увеличении его концентрации растет вероятность соседства двух ионов марганца. В этом случае повышается вероятность обмена носителями заряда между ионами марганца, что способствует ускорению процессов рекомбинации и по-

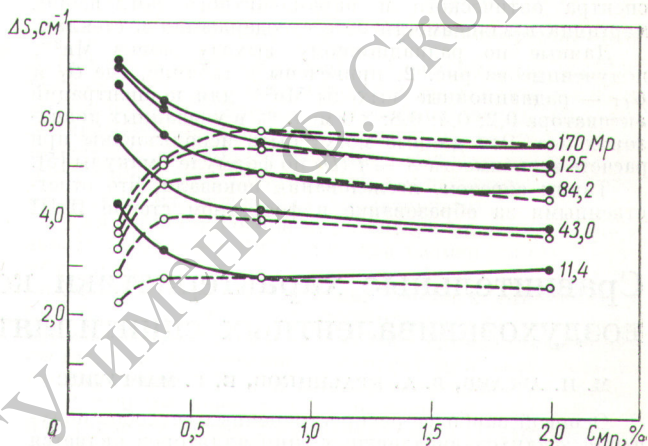


Рис. 1. Зависимость интенсивности ПНП с $\lambda_m = 560$ нм от концентрации Mn^{2+} .

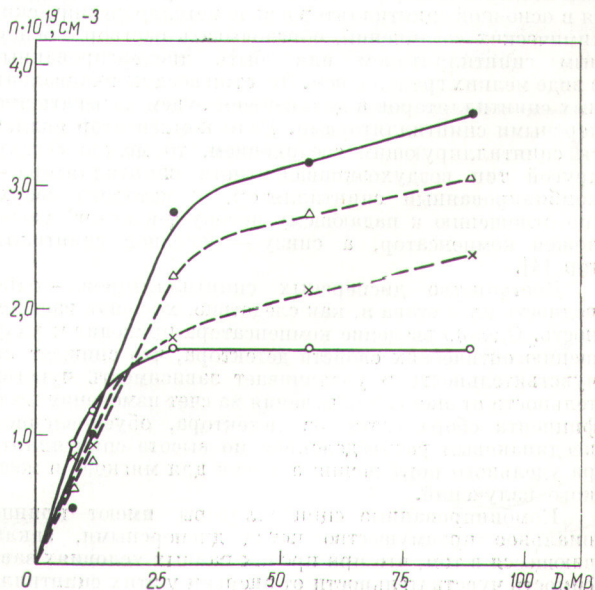


Рис. 2. Зависимости числа ионов Mn^{3+} от дозы по данным ЭПР-исследований для стекла 0160. Исходные концентрации марганца (в мол. %): 0,2 (○); 0,4 (×); 0,8 (△); 2 (●).

Радиационный выход ионов Mn^{3+} (по рис. 2)

C_{Mn} , мол. %	Диапазон доз, Мр	G_I , ион/100 эв	Диапазон доз, Мр	G_{II} , ион/100 эв
0,2	0—10	1,03	25—100	0
0,4	0—15	0,74	25—100	0,08
0,8	0—30	0,75	35—100	0,098
2,00	0—30	0,67	35—100	0,08

нижает радиационный выход Mn^{3+} . Описанные эффекты проявляются при анализе изменений интенсивности спектра оптического и парамагнитного поглощений марганца в зависимости от его содержания в стеклах.

Данные по радиационному выходу ионов Mn^{3+} , полученные из рис. 2, приведены в таблице, где G_I и G_{II} — радиационные выходы Mn^{3+} для концентраций активатора 0,2; 0,4; 0,8; 2,0 мол. % в указанных диапазонах доз. Эти данные могут быть использованы при расчете зависимости $S = f(D)$ по формуле Смакулы [5].

Таким образом, исследования показали, что ответственными за образование в фосфатном стекле ПНИ

с $\lambda_m = 560$ нм являются ионы Mn^{3+} , причем интенсивность этой ПНИ максимальна при исходной концентрации марганца $\sim 0,8$ мол. %. Такая концентрация марганца обеспечивает полное подавление нестабильной ПНИ основы, что улучшает дозиметрические характеристики стекла относительно сохранности информации во времени и при работе с повышенными температурами. Кроме того, как видно из рис. 1, эта концентрация обеспечивает ненасыщаемость характеристики $S = f(D)$ в широком диапазоне доз (~ 200 Мр).

Поступило в Редакцию 29/VII 1969 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. В. Бюргановская и др. Действие излучений на неорганические стекла. М., Атомиздат, 1968.
2. В. М. Трофимов, Н. Ф. Орлов, Н. З. Андреева. «Атомная энергия», 27, 155 (1969).
3. Д. М. Юдин. «Физика твердого тела», 7, 1733 (1965).
4. Г. О. Карапетян, А. И. Шерстюк, Д. М. Юдин. «Оптика и спектр», 23, 44 (1967).
5. L. Spurny. Perzon Dosimetry Radiat. Accidents Proc. Sympos (Vienna, 1965). Vienna, 1965, p. 131—147.

Сравнительные характеристики комбинированных и дисперсных воздухоэквивалентных сцинтилляторов

М. И. АРСАЕВ, В. А. КРАСНИКОВ, Б. Г. МАРГУЛИС

УДК 535.373.1:539.1.083:537.531:539.122

Основой наиболее распространенных способов получения воздухоэквивалентных сцинтилляторов является введение в сцинтиллятор с $Z_{эфф} < Z_{эфф}$ воздуха компенсатора, имеющего больший, чем у воздуха, эффективный атомный номер [1—3]. Компенсатор может вводиться в основной сцинтиллятор в виде металлоорганических химических соединений, образовывать раствор с основным сцинтиллятором или быть диспергированным в виде мелких гранул в нем. Этот тип воздухоэквивалентных сцинтилляторов в дальнейшем будем называть дисперсными сцинтилляторами. Если компенсатор является сцинтиллирующим соединением, то можно создать другой тип воздухоэквивалентного сцинтиллятора — комбинированный сцинтиллятор, у которого сверху (по отношению к падающему потоку γ -квантов) расположен компенсатор, а снизу — основной сцинтиллятор [4].

Достоинство дисперсных сцинтилляторов — однородность их состава и, как следствие, хорошая изотропность. Однако введение компенсатора приводит к ухудшению оптических свойств детектора, что снижает его чувствительность и увеличивает зависимость чувствительности от энергии излучения за счет изменения коэффициента сбора света из детектора, обусловленного неодинаковым распределением по высоте сцинтиллятора удельного поглощения энергии для мягкого и жесткого излучений.

Комбинированные сцинтилляторы имеют принципиальное преимущество перед дисперсными, заключающееся в том, что при прочих равных условиях зависимость чувствительности от энергии у этих сцинтилляторов меньше, чем у дисперсных. Это обусловлено тем, что энергетически выгоднее, если γ -излучение сразу поглощается в вещества с большим Z (компенсаторе),

а затем происходит поглощение ослабленного потока в основном сцинтилляторе по сравнению со случаем, когда поток γ -излучения поглощается в дисперсном сцинтилляторе. Поэтому для компенсации изменения чувствительности с энергией излучения основного сцинтиллятора требуется меньшее количество компенсатора, снижается фактор ослабления потока γ -излучения по толщине сцинтиллятора, что и приводит к улучшению этого параметра детектора. Комбинированные сцинтилляторы имеют также лучшую чувствительность, потому что компенсатор не вводится в основной сцинтиллятор и тем самым не ухудшает его прозрачности. К недостаткам комбинированных сцинтилляторов следует отнести анизотропию их свойств по отношению к направлению потока γ -квантов.

Для количественных оценок параметров комбинированных и дисперсных сцинтилляторов были рассчитаны минимально возможные значения изменения чувствительности от энергии излучения для заданных толщин указанных сцинтилляторов и проведена их экспериментальная проверка, причем в качестве основного сцинтиллятора была взята сцинтиллирующая пластмасса с $Z = 5,6$, а в качестве компенсатора — $ZnS(Ag)$ с $Z = 27$. Количественные изменения чувствительности были рассчитаны на основании данных работ [4, 5], где получены выражения для относительных эффективностей $\eta(E)$ комбинированного и дисперсного сцинтилляторов и показано, что при прочих равных условиях изменения чувствительности от энергии излучений дисперсных сцинтилляторов зависят от отношения конверсионных эффективностей компенсатора

и основного сцинтиллятора $A = \frac{G_{КОМ}}{G_{ОСН}}$, а комбинирован-