

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

97-119

P13-97-119

Ю.Г.Соболев, В.Ф.Кушнирук, Э.Бялковский¹,
М.П.Иванов, М.В.Коржик², Н.А.Кучинский,
О.В.Мисевич², С.А.Смирнова

МОНИТОР ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЭНЕРГИЙ
НА ОСНОВЕ $Y_3Al_5O_{12}:Ce$ СЦИНТИЛЛЯТОРА
И КРЕМНИЕВОГО ЭПИТАКСИАЛЬНОГО ДЕТЕКТОРА

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

¹Институт ядерной физики, Краков, Польша

²Институт ядерных проблем, Минск, Беларусь

Для проведения ядерно-физических экспериментов в области промежуточных энергий требуются сцинтилляторы, обладающие высокими быстродействием и радиационной стойкостью, имеющие большую плотность вещества для обеспечения высокой тормозной способности. Основным недостатком наиболее часто используемых сцинтилляторов CsI(Tl) и BGO - большое время высвечивания световых сигналов. Поиск новых сцинтиллирующих материалов показал [1], что одним из перспективных материалов является алюмоитриевый гранат $Y_3Al_5O_{12}$, активированный Ce (YAG:Ce). Плотность кристалла YAG:Ce составляет $4,55 \text{ г/см}^3$ и сравнима с плотностью CsI(Tl) кристалла ($4,51 \text{ г/см}^3$). YAG:Ce сцинтиллятор имеет достаточно высокий световыход и относительно быструю кинетику сцинтилляций [2]. Световыход YAG:Ce составляет не менее 40% от световыхода CsI(Tl) и примерно 250% от световыхода BGO. Постоянная времени затухания быстрой компоненты светового импульса в YAG:Ce сцинтилляторе составляет 70 нс, тогда как в BGO кристаллах это время составляет 300 нс, а в CsI(Tl) кристаллах - 900 нс. Наличие медленной компоненты светового импульса с постоянной времени затухания 300 нс позволяет производить идентификацию регистрируемых частиц при использовании анализа формы светового импульса. Кроме того, пик эмиссии YAG:Ce сцинтиллятора расположен при 550 нм и хорошо согласуется со спектральной чувствительностью кремниевых фотодиодов. Это свойство YAG:Ce с учетом высокого световыхода, обеспечивающего хорошее отношение сигнал/шум, позволяет применять фотодиодный метод считывания сигналов [2] со всеми известными преимуществами такого метода.

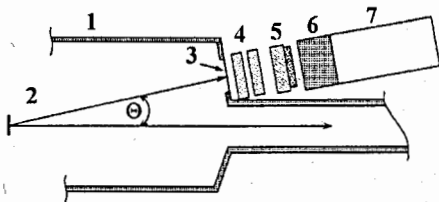
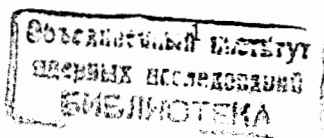


Рис.1. Схематическое изображение экспериментального устройства

В настоящей работе описан мониторный детектор установки "МУЛЬТИ" [3], предназначенной для исследования ядерных реакций с тяжелыми ионами промежуточных энергий на ускорителе У-400М ЛЯР ОИЯИ, а также приводятся результаты исследования некоторых характеристик YAG:Ce сцинтиллятора. Монитор заряженных частиц промежуточных энергий создан на основе YAG:Ce сцинтиллятора и кремниевого эпитаксиального детектора. Основное требование, предъявляемое нами к мониторному устройству, заключается в обеспечении четкого выделения пика упругорассеянных ионов, налетающих на мишень. Монитор также должен обеспечивать регистрацию частиц в широких диапазонах их энергий, масс и зарядов. Кроме того монитор должен обладать высокими быстродействием и радиационной стойкостью.



Схематическое изображение экспериментального устройства показано на рис.1. Пучок ионов ^{14}N с энергией 51 МэВ/А, полученный на ускорителе У-400М, взаимодействовал с мишенью (2) (Au, 2мкм), помещенной в вакуумной реакционной камере (1), рассеивался под углом $\theta=4^\circ$ и через выходное окно (3) (Ni, 20мкм) выходил за пределы камеры. На расстоянии ≈ 10 см от камеры в атмосфере воздуха помещался кремниевый эпитаксиальный детектор (5), кристалл YAG:Ce (6) и фотоумножитель ФЭУ-87 (7). Отражение света от торцевой поверхности YAG:Ce кристалла осуществлялось с помощью Al фольги толщиной 5 мкм. В качестве отражателя света на боковых поверхностях использовалась фильтровальная бумага, обработанная спиртовой эмульсией мелкодисперсного порошка MgO.

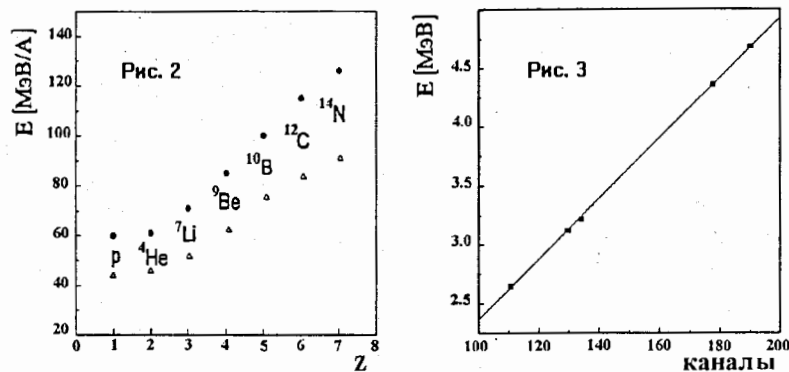


Рис.2. Максимальная энергия ионов, останавливающихся в 1 см YAG:Ce (●), в сравнении с Si (Δ) той же толщины

Рис.3. Калибровочная зависимость энерговыделения ионов ^{14}N в кремниевом эпитаксиальном детекторе

Изменение энергии ионов, падающих на систему детекторов, состоящую из кремниевого эпитаксиального детектора и YAG:Ce скintиллятора, достигалось с помощью сменных Al поглотителей (4).

Кристаллы $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$ были получены методом горизонтальной направленной кристаллизации из молибденовых контейнеров. Тестируемые кристаллы после изготовления отжигались в атмосфере близкой к воздуху при $T=600^\circ\text{C}$ в течение 6 часов. В работе использовался YAG:Ce кристалл размером $10 \times 10 \times 10 \text{ мм}^3$. Максимальная энергия частиц, полностью тормозящихся в 1 см кристалла YAG:Ce, в сравнении с Si той же толщины, показана на рис.2. Из рис.2 видно, что указанная толщина кристалла обеспечивает регистрацию заряженных частиц в широких диапазонах их энергий, масс и зарядов.

Кремниевый эпитаксиальный детектор использовался в качестве ΔE-детектора для разделения частиц по зарядам. Чувствительным слоем такого

детектора является эпитаксиальный слой n-Si толщиной 21 мкм, выращенный на $\text{p}^{++}\text{-Si}$ подложке толщиной 300 мкм [4]. В отличие от необедненного поверхностно-барьерного детектора отклик эпитаксиального детектора соответствует отклику ΔE-детектора при сквозном прохождении частиц через детектор, о чем свидетельствует линейность калибровочной зависимости энерговыделения ионов ^{14}N в детекторе от амплитуды сигнала, показанной на рис.3.

На рис.4 показана зависимость энерговыделения в эпитаксиальном детекторе от остаточной энергии частиц, зарегистрированных в YAG:Ce скintилляторе. Из рис.4 видно хорошее разделение по заряду элементов от Li до N. Кроме того, из рисунка видно, что на гиперболе, соответствующей налетающим на мишень ионам ^{14}N , пик упругого рассеяния четко выделен. Относительное амплитудное разрешение пика упругого рассеяния ^{14}N после всех поглотителей на пути к кристаллу составляло $3.2 \div 3.5\%$. Такая разрешающая способность в основном определяется дисперсией пучка ионов ^{14}N на выходе из ускорителя, которая составляла $\approx 3\%$.

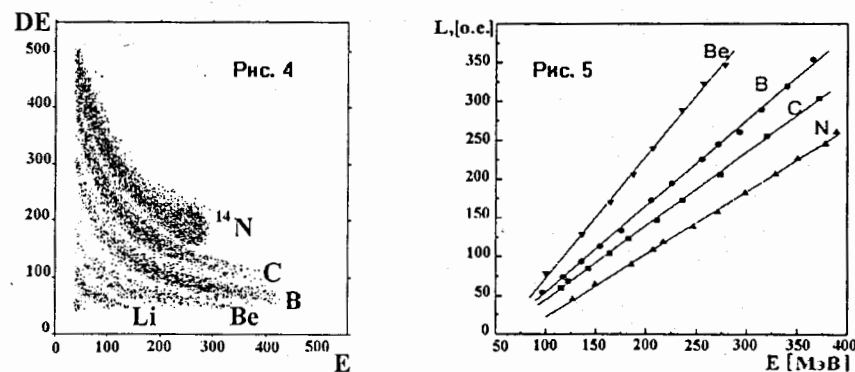


Рис.4. Зависимость энерговыделения в Si эпитаксиальном детекторе от остаточной энергии, зарегистрированной YAG:Ce скintиллятором

Рис.5. Зависимость световыхода YAG:Ce скintиллятора от энергии регистрируемых ионов Be, B, C, ^{14}N

Результаты измерений, представленные на рис.4, позволили получить предварительную информацию о зависимости световыхода YAG:Ce кристалла от заряда Z и энергии E для ионов от Be до ^{14}N . Необходимые для построения данной зависимости значения остаточной энергии, выделяемой различными ионами в кристалле YAG:Ce, получали следующим образом. Для каждого элемента на соответствующих им гиперболах, показанных на рис.4, выбирали несколько узких ΔE-окошек. Затем для каждого окошка с помощью калибровочной кривой, приведенной на рис.3, определяли энергетический эквивалент потери энергии ΔE. По полученным значениям ΔE рассчитывали остаточную энергию, выделяемую частицей в скintилляторе. При этом в качестве мас-

сового числа для данного элемента использовали значение массового числа изотопа, имеющего наибольший выход. Полученные указанным выше способом зависимости световыход приведены на рис.5, из которого видно, что, как и в случае других неорганических сцинтилляторов [5,6], отклик YAG:Ce сцинтиллятора зависит от Z и E частицы. Отметим, что в области энергии выше 10 МэВ/А световыход YAG:Ce сцинтиллятора для всех исследованных частиц линейно зависит от энергии.

В заключение отметим, что система детекторов, состоящая из кристалла YAG:Ce и кремниевого эпитаксиального детектора, обладает для частиц промежуточной энергии высокой идентификационной способностью по заряду, позволяет четко выделять пик упругорассеянных налетающих на мишень ионов и обеспечивает регистрацию частиц в широких областях их энергий, масс и зарядов. Кроме того, результаты исследования отклика YAG:Ce сцинтиллятора показали, что его световыход, как и в случае других неорганических сцинтилляторов, уменьшается с ростом Z иона, и для всех исследованных в данной работе ионов в области энергии $E \geq 10$ МэВ/А линейно зависит от энергии иона.

Авторы выражают благодарность профессору Ю.Э.Пенионжквичу за проявленное внимание к работе, а также благодарят Российский фонд фундаментальных исследований за поддержку работы, осуществленной в соответствии с проектом РФФИ N°95-02-05676-а.

Литература

1. S.Majewski and C.Zorn. Symp. on Instr. in High Energy Physics, ed. E.Sauli, Word Scientific, 1992.
2. M.Moszyński et al. Nucl. Instrum. and Meth., 1994, v.A345, p.461.
3. Ю.Г.Соболев и др. Препринт ОИЯИ P13-96-378, Дубна, 1996.
4. В.Ф.Кушнирук и др. Препринт ОИЯИ P13-95-492, Дубна, 1995.
5. G.Viesti et al. Nucl. Instrum. and Meth., 1986, v.A252, p.75.
6. E.Valtonen, J.Peltonen and J.J.Torsti. Nucl. Instrum. and Meth., 1990, v.A286, p.169.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 апреля 1997 года.

Соболев Ю.Г. и др.

P13-97-119

Монитор заряженных частиц промежуточных энергий
на основе $Y_3Al_5O_{12}:Ce$ сцинтиллятора
и кремниевого эпитаксиального детектора

Описан монитор заряженных частиц промежуточных энергий, состоящий из $Y_3Al_5O_{12}:Ce$ сцинтиллятора и кремниевого эпитаксиального детектора. Такая система детекторов обладает высокой идентификационной способностью по заряду, позволяет четко выделять пик упругорассеянных налетающих на мишень ионов и обеспечивает регистрацию частиц в широких областях их энергий, масс и зарядов. Кроме того, исследования отклика данного сцинтиллятора показали, что его световыход, как и в случае других неорганических сцинтилляторов, уменьшается с ростом Z иона и для исследованных в данной работе ионов от Be до ^{14}N в области энергий $E \geq 10$ МэВ/А линейно зависит от энергии иона.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций им.Г.Н.Флерова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1997

Перевод авторов

Sobolev Yu.G. et al.

P13-97-119

A Monitor for Intermediate-Energy Charged Particles Based
on $Y_3Al_5O_{12}:Ce$ Scintillator and Silicon Epitaxial Detector

A monitor for intermediate-energy charged particles consisting of $Y_3Al_5O_{12}:Ce$ scintillator and silicon epitaxial detectors has been described. Such detector system have high charge resolving power, permits to distinguish clearly the elastic peak of the ions bombarding the target and provides particle registration in the wide ranges of particle energies, masses and charges. Moreover, investigation of the scintillator response shows that scintillator light output, as in the case of another inorganic scintillators, decreases with increasing Z value of ion and for investigated in this work ions from Be to ^{14}N has linear dependence from energy in the energy range $E \geq 10$ MeV/A.

The investigation has been performed at the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1997