

743/2-79

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



201, 79

13 - 12035

Г-19

Ю.П.Гангрский, М.Б.Миллер, В.К.Утенков

ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ
ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ
ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОСКОЛКОВ ДЕЛЕНИЯ

1978

13 - 12035

Ю.П.Гангрский, М.Б.Миллер, В.К.Утенков

ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ
ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ
ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОСКОЛКОВ ДЕЛЕНИЯ

Направлено в ПТЭ



Гангрский Ю.П., Миллер М.Б., Утенков В.К.

13 - 12035

Тонкопленочные твердотельные конденсаторы
для детектирования осколков деления

Исследовались детекторы осколков деления, принцип действия которых основан на возникновении искрового пробоя в тонкопленочном твердотельном конденсаторе в момент прохождения через него тяжелых заряженных частиц. Полученные в работе детекторы имеют площадь чувствительной поверхности более одного см². Изучены свойства следов осколков в детекторах, приведены данные о временных и пороговых свойствах приборов. Доказана нечувствительность детекторов к α -частицам, γ -квантам и нейтронам. Отмечены преимущества детекторов описанного типа, заключающиеся в сочетании свойств, присущих электронным методам и твердотельным следовым детекторам.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Gangrsky Yu.P., Miller M.B., Utenkov V.K.

13 - 12035

Thin-Film Capacitors for Detection of Fission Fragments

Solid-state fission fragment detectors based on initiating of electrical breakdowns in thin-film capacitors are investigated. The detectors with sensitive surface area more than 1 cm² have been produced. The properties of fission fragment tracks on surface of detectors were studied as well as time and selective performances of the detectors.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research.

Dubna 1978

Для детектирования осколков деления ядер широкое распространение получили твердотельные следовые детекторы заряженных частиц /см., например, обзорную работу^{1/} /. Благодаря высоким селективным свойствам этих детекторов с их помощью удастся надежно регистрировать крайне редкие события деления в условиях большого фона других ионизирующих излучений с меньшей ионизационной способностью. В ряде экспериментов твердотельные детекторы оказались незаменимы, например, в опытах по синтезу новых тяжелых элементов, основной вид распада которых - спонтанное деление.

Вместе с тем твердотельные следовые детекторы обладают серьезным недостатком: изображения следов в материале детектора не содержат информации о времени их образования. Не существует также методов управления чувствительностью следовых детекторов в процессе регистрации. В связи с этим представляется весьма заманчивым создание детекторов осколков деления, которые, не уступая твердотельным следовым детекторам по пороговым свойствам, обладали бы качествами, характерными для электронных методов регистрации частиц, и позволяли бы производить измерения в реальном масштабе времени.

О возможности получения детекторов с указанными свойствами сообщали авторы работ^{2,3/}. Принцип действия предложенного ими детектора основан на возникновении электрического пробоя в тонкопленочном конденсаторе в момент прохождения через диэлектрический слой конденсатора таких плотно ионизирующих частиц, как осколки деления. Детектор чувствителен к осколкам, когда к его пластинам приложено напряжение, близкое к напряжению пробоя для данного слоя диэлектрика, но еще

недостаточное для возникновения самопроизвольных пробоев. Восстановление свойств конденсатора после пробоя обеспечивается за счет испарения металла с участка пластины конденсатора в месте возникновения пробоя. Для этого по крайней мере один из электродов делается тонким. Толщина его не должна превышать 500 Å.

В работах^{2,3/} детекторы указанного типа были получены на основе кремниевых пластин. Изготовленные образцы имели площадь чувствительной поверхности менее 0,1 см². Об изготовлении детекторов площадью до 0,5 см² сообщалось в работе^{4/}.

Для практических целей регистрации редких событий увеличение площади детекторов представляет большой интерес. В настоящей работе мы ставили задачу освоения технологии изготовления детекторов пробойного типа с площадью порядка одного или более квадратных сантиметров, изучение свойств следов осколков в детекторах и изучение временных характеристик детекторов.

Для изготовления детекторов нами использовался монокристаллический кремний с проводимостью P-типа и удельным сопротивлением 2,2 Ом·см. Из слитков кремния были изготовлены пластины толщиной 0,3 мм, диаметром 40 мм. Пластины подвергались механической и химической полировке, после чего на их поверхности в токе кислорода выращивался слой SiO₂ толщиной ~1000 Å. Поверхность пластин, служившая в дальнейшем в качестве тыльного электрода, путем травления в плавиковой кислоте очищалась от слоя SiO₂ и покрывалась /путем вакуумного напыления/ слоем Al толщиной ~50 мкг/см². Перед напылением тонкого верхнего электрода на неочищенной от SiO₂ стороне пластин создавалось периферическое утолщение слоя диэлектрика путем вакуумного напыления монооксида SiO. Назначение периферического усиления диэлектрического слоя состоит в ослаблении напряженности электрического поля в области присоединения контактных проводников к электродам конденсатора. Благодаря этому предотвращаются пробой конденсатора в области контактов, которые приводили бы к закорачиванию пластин, поскольку ни один из электродов в этой области недостаточно тонок для испарения металлического покрытия. По сравнению со средней тол-

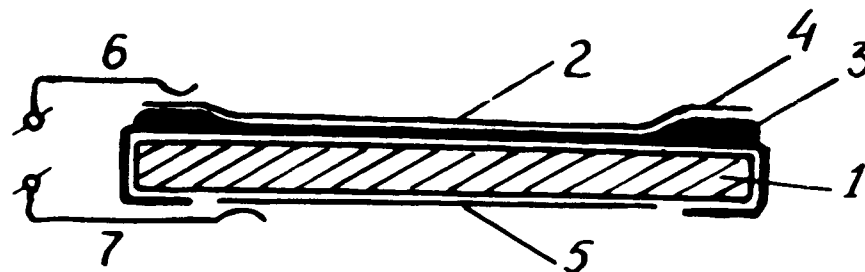


Рис. 1. Устройство детектора. 1 - кремниевая пластина, 2 - изоляционный слой двуокиси кремния, 3 - периферическое усиление изоляционного слоя слоем монооксида кремния, 4 - лицевой металлический электрод, 5 - тыльный электрод, 6 и 7 - контактные проводники.

щиной диэлектрического промежутка слой в области контактов усиливался в полтора-два раза.

Схематическое изображение готового детектора дано на рис. 1. Высокое напряжение на детектор подается через ограничительное сопротивление $R \geq 15$ кОм, которое предназначено для ограничения тока через детектор во время пробоя. На рис. 2 показаны счетные характеристики детектора с площадью чувствительной поверхности 1,0 см² полученные после электрического отжига механических микродефектов поверхности и изоляционного слоя, избежать возникновения которых при изготовлении детекторов не удастся. Кривая а снята во время облучения детектора осколками деления ядер урана из тонкой мишени под действием нейтронов энергией 14 МэВ. При напряжении 90 В детектор начинает "чувствовать" осколки. По мере повышения напряжения чувствительность увеличивается, и в районе 115 В кривая выходит на плато. При напряжении выше 130 В начинаются самопроизвольные пробои, а в дальнейшем счетная характеристика сливается с продолжением кривой б, полученной при выключенном пучке нейтронов, когда детектор не подвергается облучению осколками. Эффективность в районе плато счетной характеристики определялась путем сравнения числа импульсов, регистрируемых детектором, с числом треков на слюдяном твердотельном детекторе. Эффективность детекторов по отношению к осколкам, падающим на поверхность чувствительного слоя, оказалась близка к 100%.

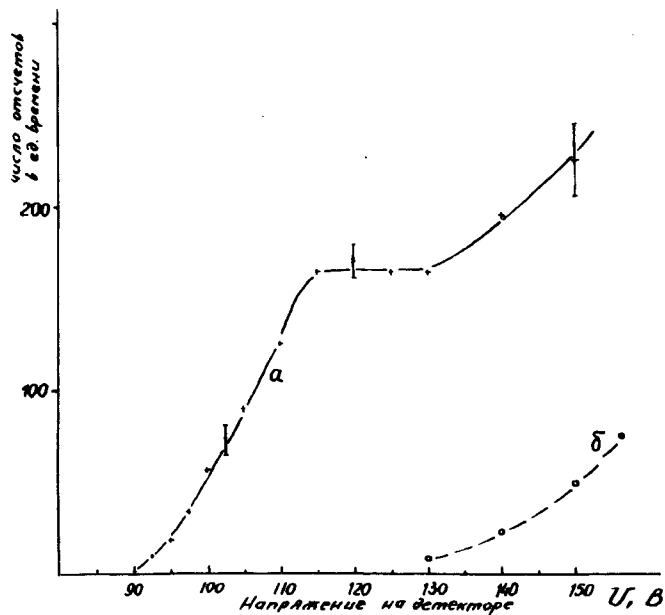


Рис. 2. Скорость счета в зависимости от напряжения на детекторе: а - при наличии осколков деления, падающих на детектор, б - без осколков деления.

При облучении детекторов в смешанном гамма-нейтронном поле от генератора нейтронов на энергию 14 МэВ с интенсивностью $10^8 - 10^9$ н/с.см² а также α -частицами ²⁴¹Am с интенсивностью около 10^5 част./с.см², чувствительности детекторов к этим видам слабо ионизирующих излучений замечено не было. Это доказывает высокую селективность детекторов к осколкам деления. Не было обнаружено также остаточного эффекта от радиационных дефектов, вызванных в диэлектрическом слое детекторов под действием осколков, которые попадали на детектор при выключенном напряжении.

Максимальная площадь детекторов, изготовленных нами, составляла 1,5 см². На одной кремниевой пластине изготавливалось несколько детекторов с общим тыльным электродом.

Особенностью работы детекторов описанного типа является образование на его поверхности следов от осколков

деления в результате испарения металла с тонкого лицевого электрода во время пробоев, индуцированных осколками. Следы имеют характерный вид круглых пятен и могут быть легко сосчитаны визуально по окончании эксперимента с помощью оптического микроскопа. Идентификация

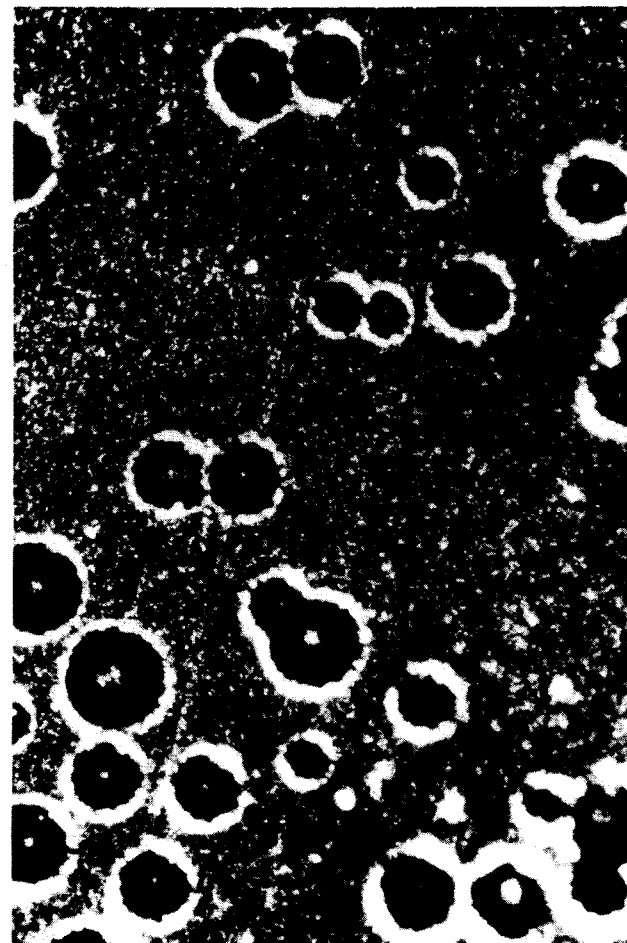


Рис. 3. Микрофотография участка рабочей поверхности детектора.

следов от осколков производится безошибочно и значительно проще по сравнению с идентификацией следов в твердотельных детекторах. Таким образом детекторы сочетают в себе свойства электронных методов и следовых детекторов, что позволяет получать с их помощью информацию как о временном, так и о пространственном распределении регистрируемых частиц. Микрофотография участка рабочей поверхности детектора, подвергнутого воздействию осколков деления урана быстрыми нейтронами, показана на рис. 3, полученном при увеличении в 600 раз. Как показали измерения, размеры пятен зависят от площади детекторов. Это связано, по-видимому, с зависимостью энергии, выделяющейся в месте пробоя при регистрации частиц, от емкости конденсатора-детектора. Размеры пятен возрастают приблизительно пропор-

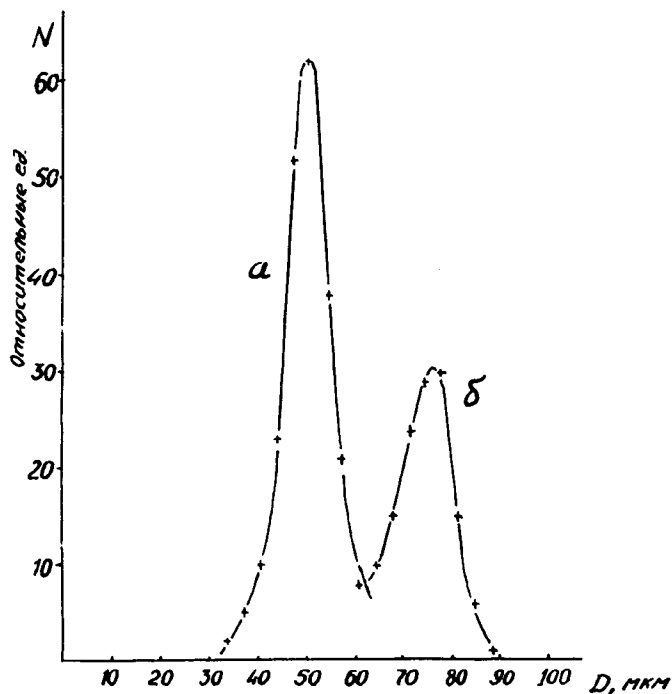


Рис. 4. Распределение следов осколков деления по диаметру пятен на лицевом электроде: а - распределение для детектора без подключенной емкости, б - распределение для того же детектора, полученное при подключении дополнительного конденсатора емкостью 12 нФ.

ционально площади детектора. Диаметры их колеблются в пределах нескольких десятков мкм. На рис. 4 приведено распределение пятен по диаметрам для детектора с площадью рабочей поверхности $1,0 \text{ см}^2$. Ширина распределения на половине высоты составляет приблизительно 10 мкм. Кривая а получена непосредственно для указанного детектора. Кривая б получена при подключении параллельно детектору конденсатора емкостью ~10 нФ. Кривые надежно разрешаются. В область перекрытия попадает менее 10% общего числа зарегистрированных событий.

Наблюдение импульсов, снимаемых с детекторов, на экране осциллооскопа показало, что крутизна переднего фронта составляет величину не менее 10 нс/В. Это указывает на возможность применения детекторов в опытах, где требуется высокое разрешение по времени одновременно с высокой селективностью регистрации осколков.

Итогом работы является доказательство возможности изготовления твердотельных детекторов пробойного типа для регистрации осколков деления, которые имеют площадь рабочей поверхности более 1 см^2 . Их использование существенно расширит возможности экспериментов по исследованию деления ядер, так как позволяет одновременно получать пространственное и временное распределение осколков деления.

Авторы глубоко признательны Г.Н.Флерову и Ю.Ц.Оганесяну за интерес к работе и поддержку. Г.Н.Акапьеву и А.М.Кучеру мы выражаем благодарность за помощь в работе и содействие при изготовлении детекторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев В.А., Перельгин В.П. ПТЭ, 1976, №2, с.7.
2. Tommasino L., Klein N., Solomon P. Journ of Appl. Phys., 1975, No. 4, p.1484.
3. Tommasino L., Klein N., Solomon P. Nucl. Track Detection, 1977, No. 1, p.63.
4. Smirnov A.N., Eismont V.P. Nucl. Instr. and Methods, 1978, No. 154, p.471.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 ноября 1978 года.