

Ученые НГУ сконструировали стенд для исследований радиационного старения полупроводниковых фотодетекторов

Эти приборы широко используются в установках для научных исследований, машиностроении, приборостроении (в том числе в космическом), энергетике и промышленности. С появлением нового стенда, работающего на базе установки БНЗТ в ИЯФ СО РАН, можно будет изучить процесс их старения при воздействии высокого уровня радиационного излучения.

Новосибирск, 27 января 2025 года: Стенд для исследования радиационного старения твердотельных фотоэлектронных умножителей (ТФЭУ) создали ученые Новосибирского государственного университета совместно со своими коллегами из Института ядерной физики им. Г.К. Будкера СО РАН. Разработанный ими стенд предназначен для работы на установке бор-нейтронозахватной терапии (БНЗТ), которая находится в ИЯФ СО РАН. Он интегрируется в установку БНЗТ, расширяя ее возможности. Стенд предназначен для исследования радиационного старения ТФЭУ. БНЗТ предоставляет возможность облучать исследуемые приборы быстрыми нейтронами, в свою очередь стенд позволяет наблюдать, как данный процесс влияет на их параметры. Первые испытания стенда были проведены в ноябре прошлого года.

Твердотельные фотоэлектронные умножители (ТФЭУ) — тип фотодетекторов, которые широко используются в науке. Могут регистрировать единичные фотоны, являющиеся следствием взаимодействия частиц с веществом, сквозь которое они проходят. Поскольку таких процессов много (сцинтилляция, черенковское излучение, тормозное излучение и т.д.), то и область применения ТФЭУ очень разнообразна. Практически в каждом современном детекторе работают сотни и тысячи ТФЭУ.

*— Под воздействием радиации, — в нашем случае это быстрые нейтроны, — происходит разрушение материала. Фактически нейтроны разрушают структуру связей в полупроводнике (как правило это кремний), из которого сделаны ТФЭУ. С другой стороны внутри какого-либо детектора, работающего на своем коллайдере, в процессе столкновения встречных пучков частиц тоже образуются нейтроны, и, значит, наряду с «полезными» частицами, для регистрации которых используются ТФЭУ, происходит их радиационное старение. В итоге образуются свободные носители заряда, формирующие темновой ток, и ТФЭУ в какой-то момент просто перестает работать. Поэтому, необходимо знать допустимый уровень радиации, при котором можно их использовать. В то же время задача физиков — сделать детекторы такими, чтобы их системы эффективно регистрировали частицы и при этом как можно меньше были подвержены пагубному воздействию радиационного облучения, — рассказал ведущий инженер межфакультетской группы перспективных разработок кафедры общей физики Физического факультета НГУ, старший научный сотрудник Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН **Виктор Бобровников**.*

В 2022 году ученые НГУ и ИЯФ СО РАН в течение месяца на установке БНЗТ исследовали влияние радиации на оптическую прозрачность волокна, используемого в системе калибровки электромагнитного калориметра детектора CMS, работающего на Большом адронном коллайдере в Европейском центре ядерных исследований (CERN). Часть данного волокна расположена достаточно рядом с местом столкновения адронных пучков, поэтому оно начинает темнеть — «стареть» под воздействием облучения. Исследования, проведенные учеными НГУ и ИЯФ СО РАН, показали, что прозрачность волокна деградирует на 25-30% при дозе, соответствующей 3 годам работы CMS на эксперимент. Команда калибровки калориметра CMS была полностью удовлетворена полученному результату. В этом эксперименте исследователи использовали оборудование и методику

проведения измерений, предложенную зарубежными коллегами. Полученный опыт был использован при создании нашего стенда для исследования ТФЭУ.

Стенд для исследований ТФЭУ состоит из трех основных элементов. Первый — это система распределения света от источника (лазера) до исследуемых ТФЭУ. Она необходима, потому что все оборудование должно располагаться в защищенной от радиации области (пультовой) для предотвращения порчи оборудования, в то время как ТФЭУ находятся непосредственно под воздействием радиации. Второй элемент — камера тепла и холода. Иногда ее называют «климатическая камера». Она позволяет задать определенную температуру для ТФЭУ от -20 до +55 градусов. Температура в данном случае является важным параметром, так как от нее зависит уже упомянутый ранее темновой ток ТФЭУ (или шум). Если этот шум достаточно велик, он может полностью заглушить полезный сигнал ТФЭУ. Также «климатическая камера» необходима исследователям потому, что температура окружающей среды достаточно нестабильна, а для повторяемости экспериментов, чтобы исследовать отклик ТФЭУ, необходимо работать в одном температурном режиме в строго одинаковых условиях. К тому же исследователям интересно проводить исследования за пределами комнатной температуры, чтобы лучше понимать возможности ТФЭУ. Третьей важной составной частью стенда является система сбора данных. Она нужна для оцифровки и последующей записи сигналов с исследуемых ТФЭУ, параметров лазера, параметров микроклимата в локации ТФЭУ, сигналов с датчиков измеряющих стабильность лазерного источника и прозрачность оптического волокна и так далее.

— Реализованные в стенде решения в той или иной мере уже используются в различных установках. Уникальность же заключается в самом процессе облучения ТФЭУ. Мы можем наряду с одновременным измерением параметров ТФЭУ выполнить оценку уровня радиационной дозы. Это дает нам редкую возможность для тщательного исследования уровня воздействия радиации на ТФЭУ. Такая возможность напрочь отсутствует при проведении аналогичных исследований на реакторах, в конечном итоге вы получите ответ только о начальном и конечном состоянии вашего прибора без понимания, как менялись его параметры в течение облучения, — объяснил Виктор Бобровников.

Испытания стенда прошли в ноябре прошлого года. Получен значительный массив данных, который в настоящее время находится в процессе обработки, но уже сейчас ученые отмечают, что эффект радиационного старения ТФЭУ проявился достаточно явно и осталось завершить анализ, чтобы полностью понять всю картину.

— Мы планируем провести модернизацию стенда с учетом полученного экспериментального опыта. Невозможно учесть все сразу — часть особенностей выясняется непосредственно в процессе работы. В проведенном сеансе облучения мы работали с довольно старыми ТФЭУ, которые сейчас уже практически не используются, но вполне подходят для «обкатки» методики измерений в реальных условиях. Сейчас у нас есть три типа ТФЭУ, используемых в настоящее время в реальных экспериментах. Один из них применяется в электромагнитном калориметре «шашлык» детектора МРД эксперимента NIKA (Дубна, Москва). Нам и нашим коллегам интересно знать отклик этих ТФЭУ на облучение. Так что планы у нас обширные, по крайней мере на ближайшие 2 — 3 года, — сказал Виктор Бобровников.