

ФОРМИРОВАНИЕ УЛУЧШЕННЫХ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ КОМПОЗИТОВ С ПОМОЩЬЮ ЦЕНТРИФУГИ

Классен Н.В., Покидов А.П., Кедров В.В.
ИФТТ РАН, г. Черногловка, Россия

Сцинтилляторы – вещества, обладающие способностью излучать свет при поглощении ионизирующего излучения (гамма-квантов, электронов, альфа-частиц и т. д.). Как правило, излучаемое количество фотонов для данного типа излучения приближённо пропорционально поглощённой энергии, что позволяет получать энергетические спектры излучения. Основные применения сцинтилляторов – ядерная энергетика, физика элементарных частиц, медицинская диагностика, дефектоскопия, радиационный мониторинг, астрофизическая гамма – спектроскопия, нейтронно-активационный анализ, каротаж скважин и др. В сцинтилляционном детекторе свет, излученный при сцинтилляции, собирается на фотоприёмнике (фотоэлектронный умножитель – ФЭУ, фотодиоды, ПЗС-матрицы и другие фотоприёмники), преобразуется в импульс тока, усиливается и записывается той или иной регистрирующей системой.

Наша команда разработала композитные сцинтилляторы из неорганических наночастиц и органических люминофоров. Они обладают уникальной комбинацией высокой поглощающей способности для ионизирующего излучения, наносекундного времени высвечивания сцинтилляции и высоким световыходом, сравнимым с эталонным CsI(Tl). Эти рекордные результаты получены сверхбыстрой передачей энергии возбуждения от тяжелых неорганических частиц, поглощающих рентгеновские лучи, к органическим люминофорам, испускающим сцинтилляции. Обычные органические сцинтилляторы имеют низкую радиационную стойкость. Показано, что наши композитные сцинтилляторы увеличивают радиационную прочность излучения благодаря внутримолекулярной фиксации полимеров наночастицами.

Ранее подобные композиты имели недостаток в неоднородном распределении наночастиц, приводящий к рассеянию сцинтилляционного света. Для лучшего упорядочения мы применили быстрое отверждение композитного раствора на центрифуге. Центробежная сила ориентировала молекулы полимера и обеспечивала лучшее упорядочение бензольных колец относительно наночастиц. Это упорядочение повысило эффективность передачи возбуждения от наночастиц, поглощающих ионизирующее излучение к сцинтиллирующим полимерам. В связи с этим световыход ориентированной пленки увеличился на 20% по сравнению с неориентированной пленкой. Кроме того, под действием центробежной силы из вращающейся подложки происходит выброс маленьких капель композита, из которого в процессе полета формируются микроволокна. Диаметры этих микроволокон варьируются от 10 до 50 мкм. Измерения рентгеновской люминесценции этих микроволокон показали увеличение их световыхода на 30% по сравнению с неориентированными пленками. Это усиление, с одной стороны, можно объяснить лучшим упорядочиванием между бензольными кольцами и наночастицами. С другой стороны, оптическая микроскопия этих микроволокон выявляет квазипериодическую модуляцию их структуры вдоль волокон с периодом порядка микрона. Такая осевая модуляция может обеспечить своего рода распределенную обратную связь, приводящую к увеличению световыхода, связанное с оптическим резонансом для испускаемой волны по аналогии с фотонным кристаллом. Мы наблюдали распространение излучаемого света вдоль волокна за пределы области, возбуждаемой рентгеновскими лучами. Этот экспериментальный факт подтверждает версию преимущественного излучения света вдоль волокон. Если это так, то будущие исследования взаимосвязи между условиями получения этих микроволокон, их внутренней структурой и характеристиками излучения света приведут к дальнейшему улучшению их сцинтилляционных параметров, связанных с оптимизацией технологии. Эти волокна могут быть использованы для изготовления сцинтилляционных матричных детекторов с высокой временной и пространственной разрешающей способностью. В этом случае боковые поверхности волокон должны быть оптически изолированы друг от друга (например, тонким алюминиевым покрытием). Затем волокна, параллельные друг другу, могут быть собраны в плотные

пучки, создавая сцинтилляционные матрицы с поперечным пространственным разрешением, соответствующие диаметру волокна и временному разрешению около 1 нсек, имеющему место в композиционных сцинтилляторах такого рода. Преимущественное распространение испускаемого света вдоль оси волокна улучшит сбор света с помощью матрицы фотоприемника, а также энергетическое и временное разрешение благодаря минимизации потерь света.

Наряду с рекордными пространственным и временным разрешениями матрицы из микроволоконных сцинтилляторов позволят значительно понизить дозы облучения пациентов при рентгеновской диагностике за счет двух факторов: заметного повышения чувствительности и возможности изготовить матрицу большой площади, способной сразу охватить все тело пациента. Так как при изготовлении таких матриц не используются высокие температуры, вакуум, высокое давление и т.д., соответствующая технология отличается высокой экономичностью.

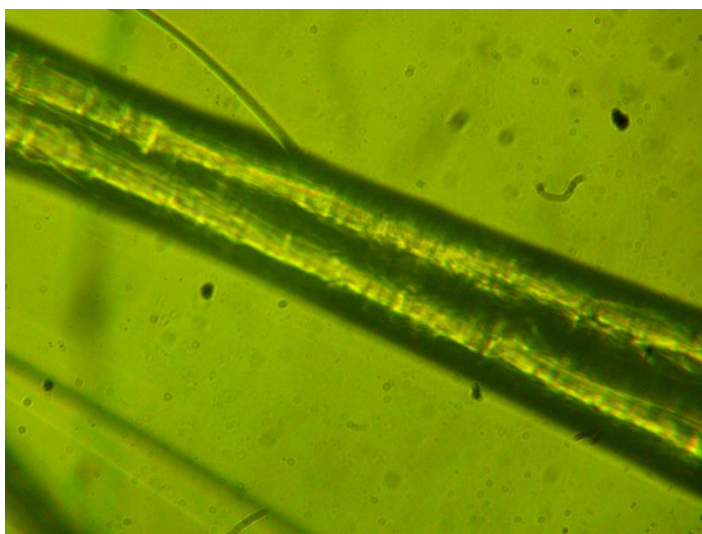


Рисунок 1 – Два параллельных сцинтилляционных микроволокна с отчетливо выраженной модуляцией внутренней структуры, которая обеспечивает распределенную обратную связь вдоль волокна и за счет этого способна увеличить световыход сцинтилляций в продольном направлении

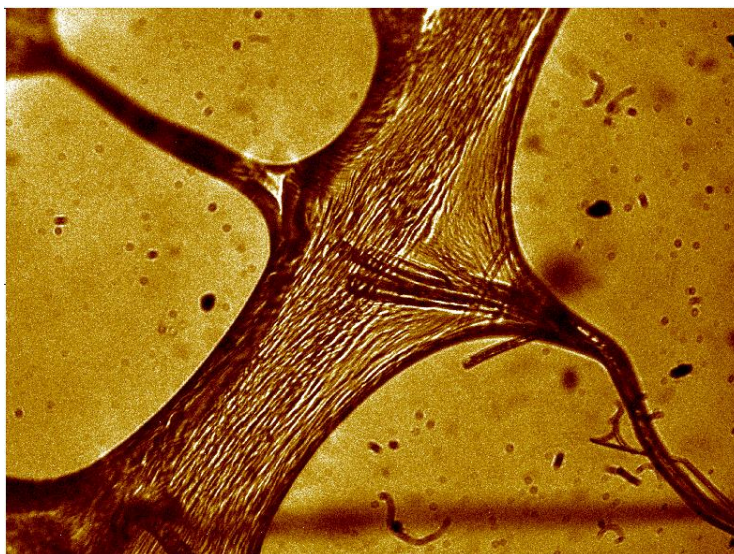


Рисунок 2 – Микрофотография видеозаписи процесса формирования сцинтилляционных волокон, где показан стоп-кадр точки пересечения двух волокон. Морфология полос микронеоднородностей внутренней структуры показывает, что ее модуляция обусловлена перераспределением компонентов композита, происходящим по отдельным пространственным гармоникам

Приведенные выше оптические микрофотографии двух параллельных волокон сцинтилляционного композита и фрагмента области пересечения нескольких волокон, получаемых центрифугированием, показывают, что параметры близких к периодическим сверхструктур (междурядный период и ориентация рядов) могут варьироваться в широких пределах. Для практических применений такая вариабельность может быть весьма полезной, если параметрами структуры оптимальным образом управлять. Сопоставление рисунков 1 и 2 позволяет предположить, что один из первостепенных управляющих факторов – скорость отверждения исходной суспензии, связанного с испарением растворителя (в данном случае – толуола) и направление его преимущественной диффузии, предшествующей испарению. Так, на рисунке 1 структура волокон промодулирована вдоль их оси, а на рисунке 2 модуляция на большей части фрагмента идет перпендикулярно оси. Если предположить, что волокна на рисунке 1 отверждались в быстром полете, а на рисунке 2 – в неподвижном состоянии, то разницу в их внутренних структурах естественно отнести на счет сильных различий скорости испарения. И направление, и период модуляции структуры волокон, и связанные с этим внутренние напряжения – параметры, оказывающие существенное влияние на светоизлучательные свойства сцинтиллятора. Поэтому понимание механизмов формирования показанных выше структур позволит создавать сцинтилляционные детекторы, лучшие по технико-экономическим параметрам.