Детекторы ионизирующих излучений

Сцинтилляционные счетчики

Сцинтилляционные счетчики уже в течение многих лет являются наиболее распространенными детекторами ионизирующего излучения. Их достоинства хорошо известны: высокая плотность вещества в чувствительном объеме детектора, относительно небольшое время реакции на частицу или квант, вызвавших сцинтилляцию, возможность выбора приемлемых размеров и свойств сцинтиллятора.

Существуют две разновидности сцинтилляторов: неорганические и органические.

### Неорганические сцинтилляторы

Для регистрации нейтронов и заряженных частиц, а также при решении специальных задач используют широкую номенклатуру сцинтилляционных детекторов, но все-таки доминирующее положение в технике радиационных измерений занимают сцинтилляционные счетчики с кристаллами NaI(Tl), в ниже приведенной таблице находятся основные характеристики некоторых органических сцинтилляторов.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал | Z | Плотность  г/см3 | Постоянная  спада, мкс | Длина волны в максимуме испускания  нм | Гигроскопичность | Сцинтилляционная эффективность, % |
| NaI(Tl)  CsI(Na)  CsI(Tl)  LiI(Eu)  CaF2(Eu)  BaF2  Bi4Ge3O12  CdWO4  ZnWO4  CaWO4 | 11(53)  53(55)  53(55)  3(53)  9(20)  9;56  32;8;83  8;48;74  8;30;74  8;20;74 | 3.67  4.51  4.51  4.06  3.18  4.88  7.13  7.90  7.33  6.06 | 0.23  0.63  1.0  1.4  0.94  <0.05  0.35  1-20  ~10  ~6 | 410  420  565  460  435  220  480  530  -  430 | +  +  -  +  -  -  -  -  -  - | 100  85  45  20-30  50  -  10  20  28  80 |

Совершенствование технологии изготовления кристаллов позволило добиться энергетического разрешения сцинтилляционных счетчиков, приемлемых для многих применений (около 6% для энергий 662 кэВ и 8,5% для энергий 1,133 МэВ у кристалла средних размеров). Потребность в измерении малых радиационных полей и малых значений активности стимулировал развитие методов производства сцинтиблоков больших объемов (вплоть до кристаллов диаметром 500 – 750 мм и высотой 200 – 250 мм), полностью поглощающих фотоны  - излучения с энергией до 1 МэВ. Были разработаны методы изготовления детекторов различной формы и геометрии из поликристаллического материала. Достаточно распространены кристаллы NaI(Tl) с «колодцем», позволяющие располагать радиоактивный препарат в центре чувствительного объема детектора и проводить измерения в геометрии, близкой к 4П.

Получили распространение кристаллы NaI(Tl) с встроенным реперным источником

241 Am для стабилизации сцинтилляционного детектора во времени и при изменении температуры окружающей среды, в частности кристаллы с внесением  излучателя 241Am в кристаллическую решетку NaI(Tl). Детектирование моноэнергетических a

 - частиц дает в распределении амплитуд пик, эквивалентный энергии  - излучения 3,15 МэВ, удобный для автоматической стабилизации коэффициента преобразования энергии в амплитуду выходного сигнала.

Усовершенствование материала и технологии упаковки кристалла позволили создать также сцинтилляторы, работающие при высоких температурах окружающей среды, используемые, например для измерения параметров плазмы. Чтобы выдерживать такие условия, детекторы NaI(Tl) должны сохранять герметизацию и удовлетворительные оптические свойства при высоких температурах.

Наряду с совершенствованием технологии изготовления классических сцинтилляторов в последние годы велись работы по использованию новых видов неорганических сцинтилляторов, позволяющих более эффективно решать отдельные задачи.

В тех случаях, когда ограничен объем детектора - излучения большой интерес вызывают сцинтилляторы, обладающие большой плотностью и позволяющие повысить эффективность регистрации  - излучения. Один из таких сцинтилляторов – ортогермант висмута Be4Ge3O12 (BGO). Кристаллы BGO обладают по сравнению с NaI(Tl) ,более высокой поглощающей способностью, что позволяет снизить объем детектора на порядок. Кроме того, этот сцинтиллятор имеет малую чувствительность к нейтронам, что оказывается удобным при измерении - излучения в смешанных полях. При изготовлении кристаллов BGO не возникает проблем равномерного распределения активатора для хорошей равномерности. Существенный недостаток этого сцинтиллятора – низкий световой выход; однако улучшение технологии и получение чистого сырья позволили для кристаллов BGO с диаметром 25 мм и высотой 2,5 мм улучшить энергетическое разрешение с 15 до 9,5%.

Наконец, для многих неорганических сцинтилляторов, и в частности для NaI(Tl), свойственно послесвечение – наличие долговременного компонента высвечивания; кристаллы BGO обладают минимальным послесвечением.

Наименьшая длительность сцинтилляций в неорганических кристаллах была получена с детекторами из фторида бария BaF2 быстрый компонент сцинтилляции позволяет получить временное разрешение в 4 – 5 раз лучше, чем NaI(Tl), и приближающееся к значениям, достигаемым с пластическими сцинтилляторами.

### Органические сцинтилляторы

Из-за некоторых преимуществ органические сцинтилляторы – как пластические, так и жидкостные – по прежнему оказываются предпочтительными при решении многих задач радиационных измерений. К их достоинствам относятся короткое время высвечивания ( менее 10 нс ) , позволяющее выполнять блоки детектирования, работающие при больших импульсных загрузках, а также эффективно выделять случаи одновременного воздействия на детекторы двух частиц или квантов, относительно высокая плотность вещества в чувствительном объеме детектора, высокий световой выход при сцинтилляции, малая зависимость коэффициента преобразования поглощенной энергии в свет от внешних условий. Важные свойства органических сцинтилляторов – возможность изменения состава, гибкость при выполнении детекторов различного объема и формы. Наконец, они позволяют наиболее просто и дешево изготовить детекторы большого объема.

Органические сцинтилляторы широко используют для детектирования и спектрометрии - излучения, поскольку обратное рассеяние от поверхности такого сцинтиллятора существенно меньше, чем от детектора с большим Z. Для этой цели чаще всего применяют пластические сцинтилляторы с геометрией, обеспечивающей уменьшение эффекта обратного рассеяния.

Пластические сцинтилляторы удобно использовать для измерения удельной активности жидкостей.

Органические сцинтилляторы наиболее часто используют как детекторы быстрых нейтронов. У многих таких сцинтилляторов различается форма импульсов, вызванных регистрацией нейтронов или  - излучения, что позволяет осуществить избирательную регистрацию быстрых нейтронов в смешанных радиационных полях.

Излучаемое сцинтиллятором число фотонов является линейной функцией энергетического кванта в широком интервале длин волн. Отклонение от линейности в области коротких длин волн связанно с неполным поглощением излучения. Для пластического сцинтиллятора линейность сохраняется до 8 А, однако не было обнаружено сильных отклонений от линейности вплоть до 16 А.

Обычно рентгеновское излучение импульсного плазменного источника измеряется с помощью пластического сцинтиллятора; оптический контакт с окном умножителя достигается при помощи тонкого слоя силиконового масла. На сцинтиллятор наносится напылением тонкое алюминиевое покрытие, увеличивающее собирание света и уменьшающее регистрирование рассеянного света.

Во всех случаях, когда это возможно толщина сцинтиллятора не должна превышать той, которая необходима для поглощения существенной доли излучения. Это уменьшает возможное влияние других источников сцинтилляции.

Ионы и электроны обычно устраняют беря сцинтилляторы малой толщины. При низких интенсивностях рентгеновского излучения, темповой ток ограничивает применение сцинтилляционных датчиков. При высоких энергиях фотонов эту трудность можно устранить применением амплитудного анализа. Однако для мягкого рентгеновского излучения этот метод неприменим.

Несколько слов об **амплитудном** анализе.

Когда амплитуды создаваемых квантами импульсов в достаточной мере превышают шумы детектора, газовые, сцинтилляционные и полупроводниковые счетчики могут быть использованы в качестве спектрометров в тех спектральных интервалах, где амплитуда сигнала пропорциональна энергии падающего кванта. Амплитудный анализ редко применим к плазме с коротким временем существования; ограничения накладываются в этом случае постоянной времени счетчика и амплитудного анализатора.

### Рентгеновская диагностика плазмы

Рентгеновская спектрометрия и спектрометрические измерения в видимой области спектра представляются сходными диагностическими возможностями. Оба метода позволяют определить:

Электронную температуру Те по измерениям интенсивности линий или непрерывного спектра