

Отзыв

На диссертацию Кожевникова Данилы Александровича «Развитие метода мультиэнергетической рентгеновской томографии с применением детекторов на основе микросхем семейства Medipix», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01, «Приборы и методы экспериментальной физики».

Диссертация Кожевникова Данилы Александровича «Развитие метода мультиэнергетической рентгеновской томографии с применением детекторов на основе микросхем семейства Medipix» относится к научным разделам современных приборов и методов экспериментальной физики. Автором сделан полезный краткий обзор основ рентгеновской томографии (РТ), включающий рассмотрение основных детекторов рентгеновского излучения (РИ) и основных физических процессов взаимодействия (РИ) с веществом. Метод РТ на основе проведения измерений с несколькими энергетическими порогами, что эквивалентно нескольким энергетическим спектрам РИ, называется мультиэнергетической рентгеновской (спектральной, цветной) томографией. Мультиэнергетическая томография основана на зависимости линейного коэффициента ослабления (ЛКО) от энергии РИ. Текст и последовательность глав диссертации составлены так, что автор, анализируя достоинства и недостатки существующих методов РТ, и на основании своих результатов моделирования и эксперимента, показывает, что только мультиэнергетическая РТ позволяет определять с высокой точностью (34 мкм) пространственное положение объектов с разной плотностью (атомный номер). Современное развитие микроэлектроники и полупроводниковых (п/п) детекторов на основе совершенных (однородных) п/п кристаллов с различной плотностью (Si, GaAs, CdZnTe) позволяет разрабатывать пикельные детекторы-сэндвичи для эффективной регистрации РИ в широком спектре энергий. Автор диссертации остановился подробно на методах вычислительной реконструкции и идентификации веществ, очевидно эта область наиболее близка ему. В диссертации в хронологическом порядке рассмотрены различные версии специализированных микросхем серии Medipix, на основе которых были созданы детекторы РИ. Диссертант основательно разобрался с программированием данных устройств, прекрасно показаны все сложности энергетической калибровки детекторов и методы решения проблем калибровки (возможность подстройки порогов для каждого пикселя в Timepix3).

В главе-2 автором выполнено моделирование сигнала ионизации в пикельном детекторе GaZnAs толщиной 1000 мкм/500 В для энергии 18 кэВ и получено теоретическое пространственное разрешение 12.6 мкм, ограниченное диффузией зарядов в процессе сбора, жаль, что не приведена для наглядности зависимость координатного разрешения от напряжения на детекторе. Можно предположить, что в тексте автором сделана опечатка насчет модели детектора площадью $(14.1 \times 14.1) \text{ см}^2$ с такой площадью не бывает кристаллов электроники под пикельные детекторы, (правильно должны быть мм^2 , в таблице приведены размеры и число пикселей, из которых следует, что размеры кристалла должны быть в пределах $(14.1 \times 14.1) \text{ мм}^2$.

Глава-3 посвящена проблеме энергетической калибровки пикселей детектора по краю спектра рентгеновского источника при заданной энергии. Подробно описана процедура выравнивания энергетических порогов пикселей, при которой автоматически

происходит и калибровка глобального энергетического порога. Практическая польза такого метода калибровки состоит в том, что калибровка детектора проводится в составе РТ (не надо извлекать детектор) и учитывается (в отличии от электронной калибровки) неоднородность материала в чувствительном объеме детектора (это важно для GaAs, CdZnTe).

В главе-4 диссертант продемонстрировал возможности работы РТ MARS и привел интересные экспериментальные результаты. Подробно, с практической пользой, описана процедура механической юстировки РТ, учтены все возможные источники погрешности и приведены разные способы оценки пространственного разрешения для нескольких реконструированных объектов. При описании томографа MARS в комплектации производителя полезно было бы привести точные размеры и тип детектора. Экспериментальным результатом, подтверждающим качество предложенных алгоритмов механической настройки томографа и выполненной автором, является полученное высокое пространственное разрешение равное $\delta = 34$ мкм.

В главе-5 приведены интересные результаты экспериментов, выполненных диссертантом и подтверждающих работу РТ MARS в режиме мультиэнергетической рентгеновской томографии. Измерения были выполнены с помощью фирменного фантома, содержащего девять колбочек с известными веществами, и показан процесс определения веществ. Реконструкция веществ основана на определении усредненных значений ЛКО для диапазона энергии РИ от 10 кэВ до 41 кэВ, разбитого равномерно на девять поддиапазонов. Возможно, автором в будущем будут продемонстрированы результаты попытки определения элементного состава неизвестного заранее вещества, помещенного в одну из 9-ти ячеек фантома.

Глава-6 содержит самые интересные экспериментальные результаты, которые были получены на основе, предложенного автором, применения составного детектора РИ на основе объединения трех пиксельных детекторов из разных п/п материалов - Si, GaAs, CdZnTe. Следует отметить, что автором было выполнено моделирование оптимальной структуры составленного детектора из трех разных п/п материалов и определены оптимальные толщины 300 мкм, 500 мкм и 2000 мкм, соответственно для Si, GaAs, CdZnTe. В данном варианте составного детектора РИ используются преимущества трех типов отдельных детекторов, каждого для своей части энергетического диапазона РИ от 3 кэВ до 100 кэВ. Показана высокая эффективность от 75% до 98% такого трехслойного детектора и сохранение высокого пространственного разрешения во всем диапазоне энергии РИ. Было бы совсем хорошо увидеть в данной главе временную диаграмму измерений с помощью трех детекторов и блок схему их соединения. Возможно ли одновременно зарегистрировать в трех детекторах сигналы от одного и того же первичного падающего фотона (комптон в первых двух плоскостях и полное поглощение в CdZnTe) или это очень маловероятный процесс?

Текст диссертации написан грамотным и понятным языком, производит хорошее впечатления, несмотря на мелкие опечатки в падежах. Поставленная цель научного исследования - разработка метода определения пространственного распределения веществ с применением детекторов на основе микросхем семейства Medipix достигнута на основе выполнения шести задач, сформулированных на стр.7 текста диссертации. Данная диссертация будет полезна как для студентов физических специальностей, так и

для специалистов разработчиков физических приборов и исследователей, применяемых РТ в своих работах. Диссертация Кожевникова Данилы Александровича «Развитие метода мультиэнергетической рентгеновской томографии с применением детекторов на основе микросхем семейства Medipix» выполнена на высоком научном уровне, соответствует требованиям действующего «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертационным работам, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01, «Приборы и методы экспериментальной физики».

К.т.н., нач. сектора «Полупроводниковых детекторов»

Н.И. Замятин

Лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ,

тел. 8-906-7200227,

nzamiatin@mail.ru



Подпись Н.И. Замятина заверяю

Ученый секретарь ЛФВЭ ОИЯИ

Д.В. Пешехонов

