

УДК 539.1.074.23

ДВУХКООРДИНАТНАЯ МНОГОПРОВОЛОЧНАЯ ПРОПОРЦИОНАЛЬНАЯ КАМЕРА ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Т. П. Топурия, М. Д. Шафранов

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Представлены результаты численного моделирования электростатических характеристик многопроволочной пропорциональной камеры с системой предварительного газового умножения. Применение системы предварительного газового умножения позволяет уменьшить расстояние между анодными проволочками камеры до 100 мкм, следовательно, тем самым существенно повысить координатную точность детектора. Рассмотрено влияние взаимного смещения элементов системы предварительного умножения и анодной плоскости камеры.

The results of numerical modelling of electrostatic characteristics of the multiwire proportional chamber with a system of preliminary gas multiplication are presented. The application of the system of preliminary gas multiplication allows one to reduce the distance between anode wires of the chamber up to 100 μm , that is essential to increase coordinate accuracy of the detector. The influence of mutual displacement of elements of the preliminary multiplication system and of the chamber anode plane is considered.

В публикации [1] представлены результаты численного моделирования электростатических характеристик координатного детектора на основе многопроволочного газового электронного умножителя (МПГЭУ). Схематическое изображение такого однокаскадного детектора показано на рис. 1. Численное моделирование нескольких вариантов МПГЭУ показало необходимость высокой точности взаимного размещения проволочек системы. Смещение одной из проволочек системы или всей плоскости проволочек приводит к уменьшению эффективности регистрации, связанной с изменением электронной прозрачности умножителя. Электронная прозрачность определяет долю первичных электронов, образующихся в ионизационном промежутке между плоскостями электродов 1 и

Рис. 1. Схематическое изображение многопроволочного газового электронного умножителя: 1 — верхний электрод системы; 2, 3 — многопроволочные электроды ГЭУ; 4 — полосковый анод. Электроды 1 и 2 образуют ионизационный и первый дрейфовый промежутки. Второй дрейфовый промежуток образован электродом 3 и собирающим анодом 4. Умножение первичной ионизации происходит в электрическом поле между электродами 2 и 3. $U(1, 2)$, $U(2, 3)$ и $U(3, 4)$ — разности потенциалов соответствующих промежутков



2 и попадающих в канал умножения. Этот процесс связан с доминирующим влиянием зарядов, локализованных на проволочках второй плоскости при слабом влиянии равномерно распределенных зарядов поверхности 4 полосковой печатной платы. Смещенные заряды проволочек создают конфигурацию электрического поля, при которой электроны из области первичной ионизации после газового умножения в пространстве между электродами 2 и 3 попадают на проволочки второй плоскости, не доходя до полосковой системы регистрации сигнала. Из конфигурации электрических полей, возникающей при смещении проволочек, и анализа проблемы можно сделать вывод о возможности улучшения ситуации при использовании дополнительной плоскости электродов — анодных проволочек. Детектор становится пропорциональной камерой с системой предварительного газового умножения. При этом плоскость анодных проволочек пропорциональной камеры должна быть смещена по отношению к плоскости проволочек системы газового умножения на половину расстояния между проволочками электродов 2 и 3. Результаты численного моделирования для такой конфигурации электродов представлены в настоящей работе.

Схема рассматриваемого детектора дана на рис. 2. Со стороны падающего пучка частиц расположен верхний электрод 1. Этот электрод вместе с многопроволочным электродом 2, являющимся первым электродом системы газового умножения, создает ионизационное пространство, из которого электроны первичной ионизации дрейфуют в газовое пространство между электродами 2 и 3. Между электродами 2 и 3 в сильном электрическом поле происходит газовое умножение. Плоскость проволочек Aw является анодной плоскостью пропорциональной камеры. Четвертым электродом служит полосковая печатная система, индуцированные сигналы с которой подаются на электронную схему для регистрации акта прохождения частицы и определения ее вторых координат.

При моделировании было рассмотрено несколько вариантов взаимного размещения электродов и подаваемого на электроды напряжения. В основном варианте электрод 1 находится под отрицательным потенциалом -1875 В. Электрод 2 находится под потенциалом -1375 В. На электрод 3 — второй электрод газового умножителя — подан потенциал -625 В. Анодные проволочки Aw пропорциональной камеры и четвертый электрод — полосковая печатная система — находятся под нулевым потенциалом.

Электроды 2 и 3 созданы проволочками диаметром 30 мкм, диаметр анодных проволочек Aw равен 20 мкм. Расстояния между электродами 1, 2 и 2, 3 равны 3 и $0,3$ мм соответственно. Плоскость анодных проволочек находится на равных расстояниях как от электрода 3, так и от полосковой системы съема информации. Это расстояние равно $0,25$ мм.

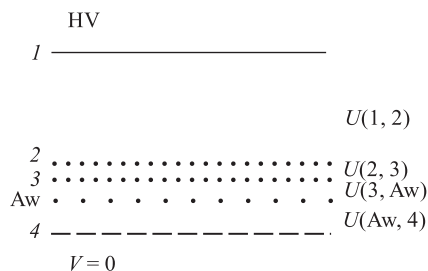
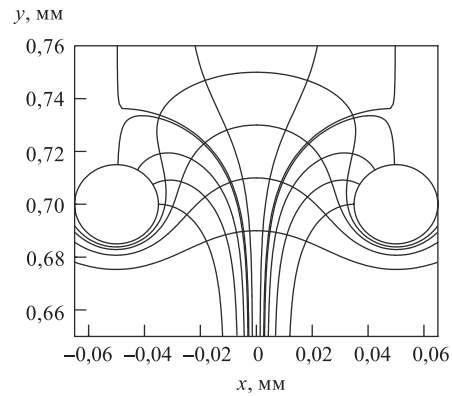


Рис. 2. Схематическое изображение многопроволочной двухкоординатной камеры с системой предварительного газового умножителя: 1 — верхний электрод системы; 2, 3 — многопроволочные электроды с системой предварительного газового умножения; 4 — плоскость анодных проволочек. Электроды 1 и 2 образуют ионизационный промежуток. Умножение первичной ионизации происходит в электрическом поле между электродами 2 и Aw и в поле анодной проволочки

Рис. 3. Конфигурация электрического поля и эквипотенциали на входе в канал умножения камеры, образованный провололками второго электрода. Электроны от первичной ионизации дрейфуют в направлении ко второму электроду системы, фокусируются на подходе к нему, ускоряясь в электрическом поле, создают вторичную ионизацию. Масштаб вдоль оси y изменен

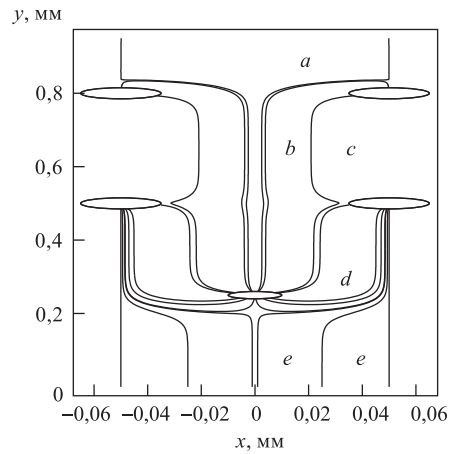


Конфигурация электрического поля и некоторые эквипотенциальные линии на входе системы показаны на рис. 3. В этом варианте расстояние между электродами 2 и 3 в отличие от основного равно 0,2 мм.

Указанные выше напряжения выбраны для создания конкретных величин электрических полей исходя из расстояний между электродами. В публикации [1] показано, что практически величина электрического поля между плоскостями соседних электродов $E \cong U/d$, где U — разность потенциалов между электродами, а d — расстояние между ними. При разности потенциалов между вторым и третьим электродами 750 В и расстоянии между ними 0,3 мм ожидаемая напряженность поля $E \cong 25$ кВ/см. Распределение электрического поля вдоль оси ячейки показано на рис. 2. Рассчитанное моделированием значение поля в медианной плоскости между электродами 2 и 3 равно 25,8 кВ/см.

На рис. 4 показаны области, из которых электроны дрейфуют к провололкам системы. Области образованы граничными силовыми линиями электрического поля.

Рис. 4. Схема дрейфовых областей камеры, образованных граничными силовыми линиями электрического поля. Ионизационное пространство, из которого первичные электроны после умножения собираются на аноде пропорциональной камеры, — a . К аноду дрейфуют и электроны из областей b и d . Из области c электроны дрейфуют к провололкам второго электрода. Из области e электроны дрейфуют в слабом электрическом поле и собираются на четвертом электроде. Параллельность силовых линий означает, что электрическое поле в межэлектродном пространстве практически однородно и по величине совпадает с полем канала умножения. Масштаб вдоль оси y изменен



Распределение электрического поля вдоль оси канала умножения приведено на рис. 5. Кривая a соответствует основному варианту системы с приведенными выше напряжениями на электродах. Кривая b соответствует детектору с шириной между плоскостями

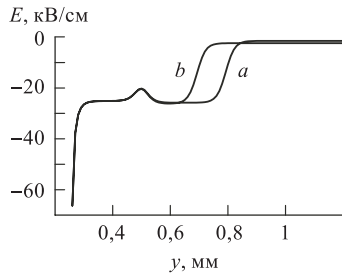


Рис. 5. Распределение E_y -компонента электрического поля вдоль оси канала умножения. Поле изменяется между провололками электрода 3 вблизи значения $y = 0,5$ мм

электродов 2 и 3 200 мкм. Для сохранения в этом межэлектродном промежутке величин поля, примерно равных величинам основного варианта, напряжение между плоскостями электродов 2 и 3 уменьшено с 1375 до 1125 В. Как следует из рисунка, фактически длина канала умножения для кривой a равна 0,5 мм. Область газового умножения анодной провололки начинается на расстоянии 30 мкм от ее поверхности.

Процесс создания подобного детектора идет в два этапа. На первом этапе на рамках изготавливаются отдельно электроды 2, 3 и А_в. Современные технологии изготовления печатных плат, лазерные технологии изготовления дифракционных решеток и компакт-дисков позволяют обеспечить точность на уровне одного микрометра на длине в несколько десятков сантиметров. Таким образом, возможно размещение провололок электрода с необходимой точностью. На втором этапе должна быть выполнена сборка этих трех электродов. Необходимая точность при взаимном размещении электродов получена из дальнейшего моделирования.

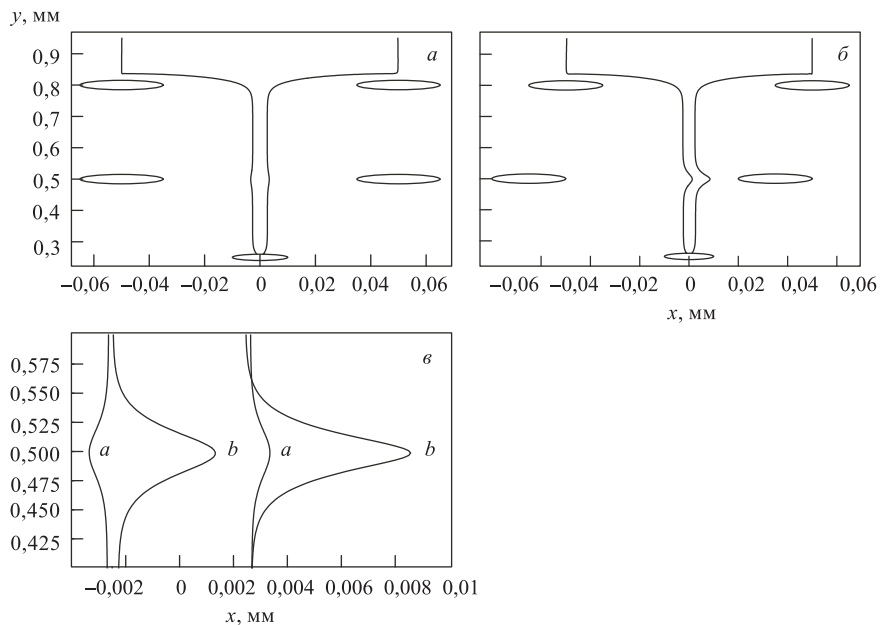


Рис. 6. Форма канала умножения камеры, образованного границными линиями поля, и его изменение при смещении плоскости электрода 3. a) Смещение электродов отсутствует; $б$) электрод 3 смещен на 15 мкм. Изменение конфигурации канала умножения при таком смещении в области электрода 3 показано кривыми b на рис. $в$. Кривые a — конфигурация канала при отсутствии смещения

На рис. 6 показаны результаты моделирования точности размещения электрода 3. На рис. 6, *a* отмечена область детектора без смещения проволочек электрода. Рис. 6, *б* представляет результат моделирования при смещении электрода 3 на 15 мкм по отношению к остальным несмещенным электродам. Канал газового умножения слегка деформирован и смещен в сторону ближайшей проволочки электрода 3 примерно на 5 мкм, что видно на рис. 6, *в*. Деформация канала умножения при смещении плоскости третьего электрода на 20 мкм более существенна. Канал смещен практически до поверхности проволочки третьего электрода (рис. 7). Независимо от величин смещения электроны в канале дрейфуют в ту же область поверхности анодной проволочки, что и без смещения. Это означает неизменность коэффициента газового умножения анодной проволочки. При смещении на 20 мкм сокращается ширина канала дрейфа между первым и вторым электродами на 5 мкм, что следует из хода правой граничной силовой линии поля. Следствием этого является уменьшение электронной прозрачности детектора до 95 %.

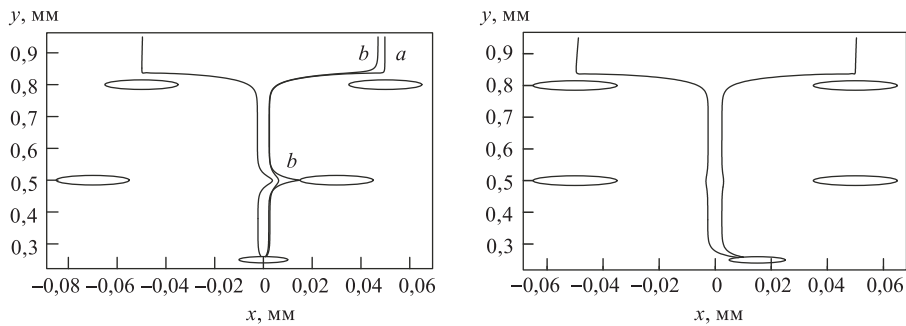
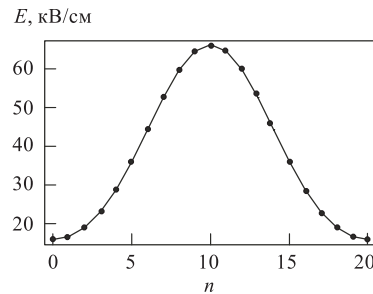


Рис. 7. Изменение конфигурации канала умножения при смещении электрода 3 на 20 мкм. Кривая *a* — конфигурация канала при смещении на 15 мкм; кривые *b* — смещение электрода на 20 мкм. Следствием разницы между граничными линиями поля *a* и *b* вблизи правой проволочки является уменьшение электронной прозрачности детектора

Рис. 8. Изменение конфигурации канала умножения при смещении анодной плоскости камеры на 15 мкм. Следствием смещения является уменьшение газового умножения в области анодной проволочки

Рассмотрим следствия смещения плоскости анодных проволочек A_w на 15 мкм (рис. 8). Изменения электронной прозрачности нет. В канале умножения изменения отсутствуют вплоть до области в окрестности анодной проволочки. Все характеристики

Рис. 9. Распределение электрического поля по окружности вдоль поверхности анодной проволочки. Точка 10 соответствует сечению проволочки плоскостью, проходящей через центр проволочки и параллельной плоскости $x = 0$



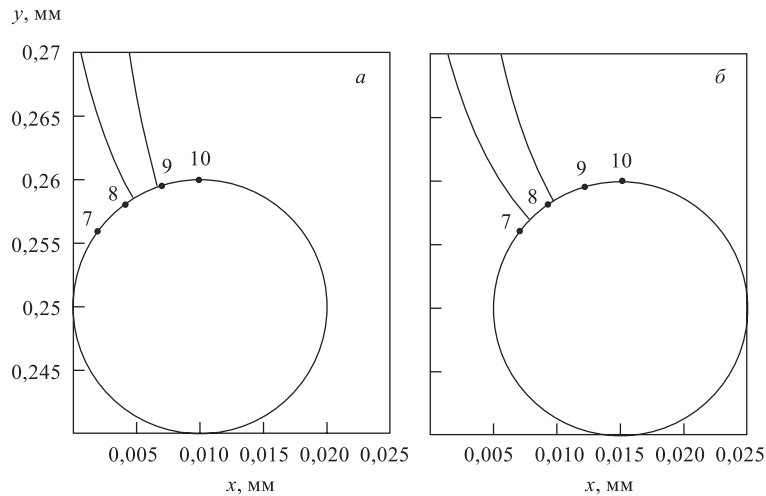


Рис. 10. Области анодной проволоочки, в которые дрейфуют вторичные электроны из канала умножения. Рис. *а* соответствует смещению на 15 мкм, рис. *б* — смещению на 20 мкм. Номера точек соответствуют нумерации на рис. 9

соответствуют случаю без смещения. В районе анодной проволоочки происходит смещение канала умножения от его оси в сторону анодной проволоочки. Вторичные электроны могут дрейфовать в область газового умножения анодной проволоочки с меньшим значением электрического поля. Этот эффект усугубляется при смещении плоскости анодных проволоочек A_w на 20 мкм. Рис. 9 представляет распределение электрического поля по окружности поверхности анодной проволоочки. На рис. 10 показаны области анодной проволоочки, в которые дрейфуют вторичные электроны из канала умножения. Рис. 10, *а* соответствует смещению на 15 мкм, рис. 10, *б* — смещению на 20 мкм. Величины среднего значения поля 66, 63 и 60 кВ/см соответствуют случаям без смещения плоскости анодных проволоочек, со смещением 15 и 20 мкм соответственно. Уменьшение напряженности поля в двух последних случаях приведет к уменьшению коэффициента газового умножения анодной проволоочки.

Смещение плоскости электродов 2 по своей сути эквивалентно одновременному смещению плоскости анодных проволоочек и плоскости третьего электрода. Результатом является сумма результатов отдельных смещений плоскостей 3 и A_w . Об этом свидетельствует рис. 11, на котором представлен результат смещения плоскости 2 на 15 мкм.

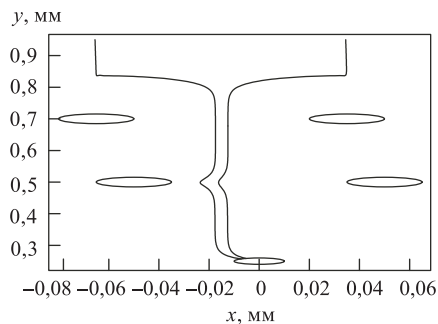


Рис. 11. Изменение конфигурации канала умножения при смещении электрода 1 на 15 мкм. Такое смещение эквивалентно одновременному смещению электрода 3 и анодной плоскости (рис. 6 и 8). Следствием смещения является уменьшение газового умножения в области анодной проволоочки

Создание детектора требует выполнения определенных точностей намотки проволочек анодной системы и проволочек системы предварительного газового умножения. Современные технологии, несмотря на жесткие условия, позволяют их успешно выполнить.

1. *Шафранов М. Д., Топурия Т. П.* // Письма в ЭЧАЯ. 2001. № 2[105]. С.11–25.

Получено 29 октября 2002 г.