



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2012–7
ОЭФ

В.А. Гапиенко, О.П. Гаврищук*, А.А. Головин, Ю.М. Свиридов,
А.А. Семак, С.Я. Сычков*, Е.А. Усенко*, М.Н. Уханов

**Исследование загрузочной способности
стеклянной многозазорной резистивной плоской
камеры при повышении рабочей температуры**

Направлено в *ПТЭ*

*Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Протвино 2012

Аннотация

Гапиенко В.А. и др. Исследование загрузочной способности стеклянной многозазорной резистивной плоской камеры при повышении рабочей температуры: Препринт ИФВЭ 2012–7. – Протвино, 2012. – 11 с., 7 рис., библиогр.: 15.

Показано, что многозазорная резистивная плоская камера (МРПК) из обычного промышленного стекла может выдерживать значительные загрузки при повышенной рабочей температуре. Приведены результаты испытания двух стеклянных камер на пучке в тестовой зоне ускорителя У-70 ИФВЭ. Необходимая радиационная нагрузка детектора создавалась при помощи радиоактивных источников. При загрузке около 20 кГц/см^2 и рабочей температуре равной 45°C временное разрешение детектора было не хуже 80 пикосекунд.

Abstract

Gapienko V.A. et al. Thin Glass MRPC Rate Capability at Moderate Warming: IHEP Preprint 2012–7. – Protvino, 2012. – p. 11, figs. 7, refs.: 15.

In this study we demonstrate that a multigap resistive plate chamber (MRPC) made of commercial float glass is capable to sustain high rate at moderate warming. The time resolution of the chamber and its efficiency to detect charged particles were measured in a low intensity hadron beam under high flux irradiation by means of radioactive sources. The time resolution of better than 80 ps was reached at the rate of 20 kHz/cm^2 and at temperature of 45°C .

Введение

В настоящее время в физике высоких энергий стеклянная многозаярная резистивная плоская камера (МРПК) является наиболее подходящим кандидатом для создания больших по площади время-пролетных детекторов (ВПД). Преимуществами МРПК являются: низкая стоимость, высокая эффективность регистрации заряженных частиц и нечувствительность к наличию магнитного поля. В качестве примеров можно привести строящиеся эксперименты СВМ [1-2] и МРД [3], в которых решено использовать МРПК в составе время-пролетного детектора. При этом требуемое временное разрешение МРПК должно быть не хуже 80 пс. При лабораторных исследованиях получено временное разрешение МРПК около 50 пс [5-7]. Существуют работы, где показано, что эту величину можно существенно улучшить. Так в работе [8] было получено временное разрешение 20 пс для МРПК с 24 зазорами. Есть модельное предсказание [9], что МРПК с газовым промежутком 0.3 мм и 6 зазорами имеет предельное временное разрешение равное 25 пс.

Однако у стеклянной МРПК есть существенный недостаток – невысокая загрузочная способность. Поток заряженных частиц, пересекающий газовый зазор, порождает лавинные разряды между электродами. Ток от этих разрядов, проходящий через стеклянные электроды, вызывает падение напряжения внутри газового зазора. При высоких

загрузках снижение разности потенциалов приводит к существенному ухудшению всех характеристик МРПК. При объемном сопротивлении обычного стекла 10^{12} - 10^{13} $\Omega \times \text{см}$ загрузочная способность МРПК ограничена на уровне тысячи частиц через 1 см^2 в секунду. Для того чтобы использовать МРПК в экспериментах с большими нагрузками, в таких как СВМ [1-2], где ожидаемый поток частиц в ВПД около 20 кГц/см^2 , необходимо использовать низкорезистивные материалы для электродов.

В работе [10] приведены характеристики четырехзворной МРПК, которая была изготовлена из специального полупроводящего силикатного стекла, которое подобно по составу стеклу Пестова. Это стекло включает оксиды щелочных элементов и обладает относительно низким объемным сопротивлением 10^8 - 10^9 $\Omega \times \text{см}$. При нагрузке в 20 кГц/см^2 эта МРПК продемонстрировала эффективность около 95% и временное разрешение 100 пс. Как альтернативу полупроводящему силикатному стеклу можно упомянуть низкорезистивную керамику [11], для которой получена загрузочная способность 80 кГц/см^2 . Однако, по сравнению с обычным стеклом, изготовление полупроводящих стекол и керамических пластин сопряжено с технологическими сложностями, что приводит к значительному удорожанию производства МРПК.

Есть два способа снижения сопротивления электродов. Первый способ состоит в использовании очень тонких электродов. Уменьшение локального падения напряжения в камере при протекании тока от лавинного разряда пропорционально толщине электродов. Другой способ заключается в уменьшении объемного сопротивления стекла путем увеличения рабочей температуры детектора. Идею использования сильной зависимости сопротивления стекла от температуры можно найти в работах [12,13].

В настоящей работе был использован комбинированный подход – МРПК были изготовлены из очень тонких стекол и были подвергнуты небольшому нагреву во время измерений их характеристик.

Конструкция МРПК и схема установки

Объемное сопротивление промышленных стекол варьируется в широком диапазоне, поэтому был сделан предварительный отбор образцов. В результате, для сборки камер были выбраны два вида: стекло толщиной 0.55 мм, которое производится компанией Glaverbel (<http://www.agc-glass.eu/>) и покровные стекла для микроскопов толщиной 0.16 мм, производимые компанией Pearl (China, CN-Pearl Industry Co., Ltd.).

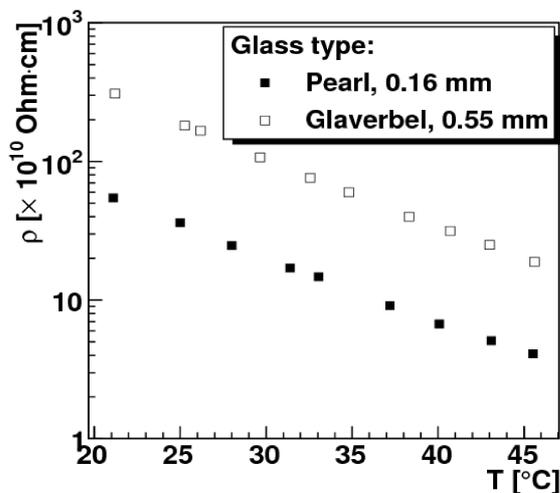


Рис. 1. Объемное сопротивление стекол компаний Glaverbel и Pearl как функция температуры.

Объемное сопротивление отобранных образцов показано на рис. 1 как функция температуры. При измерении сопротивления, к стеклянным пластинам прикладывалась разность потенциалов в 100 В. Несмотря на то, что при одинаковой температуре сопротивление стекла от компании Pearl примерно в пять раз меньше чем у стекла Glaverbel, оба образца имеют одинаковый наклон температурной зависимости: рост температуры на 25^oC приводит к уменьшению объемного сопротивления стекла в 10 раз. Подобное поведение сопротивления стекол наблюдалось в работе [13].

Для исследований были собраны две шестизазорные МРПК. Одна из них была изготовлена из семи стекол Glaverbel. Далее она будет называться “толстая” камера. Вторая, - “тонкая”, состояла из пяти внутренних пластин стекла Pearl, а внешние высоковольтные электроды этой камеры были сделаны из пластин Glaverbel для того, чтобы обеспечить механическую жесткость сборки. Толщина газовых зазоров в обеих камерах была одинаковой и составляла 230 мкм. Размеры стеклянных пластинок также были одинаковыми - 2.5x2.5 см². Активная площадь у обеих МРПК была 1.9x1.9 см². Ячейки таких размеров могут рассматриваться как прототип для центральной части ВПД в эксперименте СВМ. Расстояние между стеклянными пластинами задавалось полосками из лавсана (спейсеры). Сигнальный и высоковольтный электроды были изготовлены из медной фольги, приклеенной к внешним стеклянным электродам с помощью токопроводящего клея.

Обе тестируемые МРПК помещались в небольшую алюминиевую коробку (15x12x3 см³), которая представляла собой замкнутый газовый объем. В свою очередь,

эта металлическая коробка помещалась в центр термостата, функции которого выполняла пластиковая коробка ($30 \times 30 \times 6 \text{ см}^3$). Внутри термостата располагались шестнадцать нагревательных элементов, которые управлялись при помощи терморегулятора ТН-0502-N [15]. Необходимая температура внутри термостата поддерживалась с точностью $\pm 0.5^\circ\text{C}$. Как алюминиевая коробка, так и термостат были снабжены температурными датчиками, отслеживающими температуру внутри соответствующих объемов. Газовая смесь для МРПК подавалась в алюминиевую коробку через медную трубку, которая находилась внутри термостата, выполняя роль теплообменника. Общая длина этой трубки составляла 6.7 м, ее внутренний диаметр был 4 мм. Поток газа был достаточно слабый для того, чтобы температура газа, подаваемого в МРПК, была равна температуре термостата. Состав рабочего газа для МРПК: 90% тетрафторэтана ($\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$), 5% изобутана (C_4H_{10}) и 5% гексафторида серы (SF_6).

Измерения с МРПК проводились в тестовой зоне ускорителя У70 ИФВЭ. Пучок состоял из положительно заряженных частиц с импульсом около 3 ГэВ/с. Для получения начальной временной отметки, t_0 , использовались два временных счетчика. Каждый счетчик состоял из сцинтилляционной палочки, размером $1 \times 1 \times 10 \text{ см}^3$, и двух фотоумножителей на ее концах. Точность измерения времени этими счетчиками была 70 пс. В выработке триггерного сигнала участвовали два сцинтилляционных пучковых счетчика, которые позволяли отбирать из широкого в поперечном сечении пучка область размером $1 \times 1 \text{ см}^2$. Сигналы от МРПК подавались на усилитель-дискриминатор [4], который был разработан для МРПК в эксперименте FOP1. Выходные сигналы усилителя, а также сигналы от сцинтилляционных счетчиков передавались по коаксиальным кабелям длиной 25 м на стойки электроники, где они оцифровывались при помощи модулей LeCroy 2228A (ВЦП, 50 пс/бин) и LeCroy 2249A (ЗЦП).

При использовании дискриминатора с постоянным порогом возникает зависимость времени его срабатывания от амплитуды входного сигнала. На рис. 2(a) показан пример зависимости времени появления цифрового сигнала МРПК (t_{MRPC}) от заряда на входе дискриминатора. Поэтому временная отметка с камеры корректировалась с учетом этой зависимости. Пример распределения по времени отклика МРПК относительно начальной временной отметки, ($t_{\text{MRPC}} - t_0$), приведен на рис. 2(b). Кривая на рис. 2(b) есть результат аппроксимации данных функцией Гаусса. Доля событий, которые нахо-

дятся вне гауссовой кривой составляет около 1%. Во всех наших измерениях доля не гауссовых “хвостов” в распределении по времени не превышала 2%. Среднеквадратичное отклонение для гауссовой аппроксимации, приведенной на рис. 2b, равно 77 пс, что с учетом точности определения t_0 , показывает, что временное разрешение детектора равно 30 пс. В эту величину входят временное разрешение усилителя-дискриминатора и ВЦП.

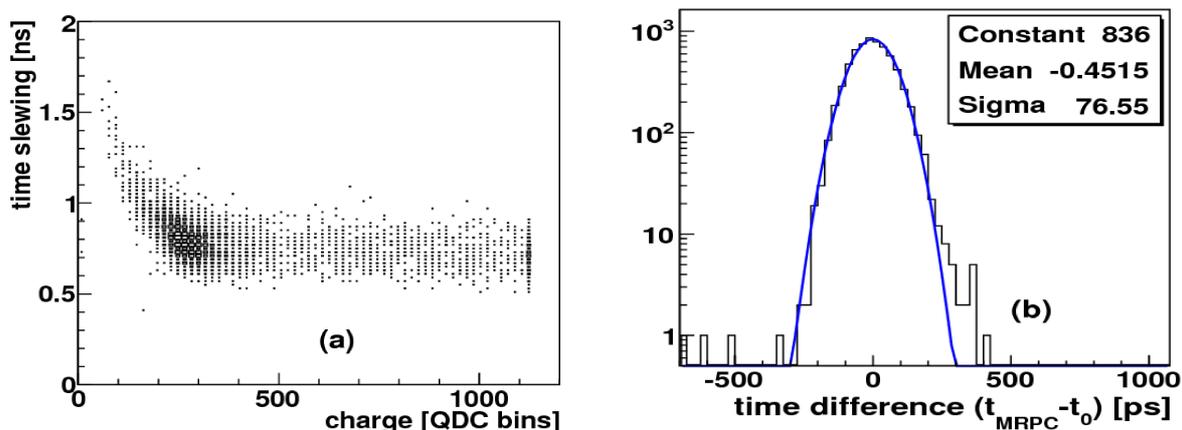


Рис. 2. а) Зависимость времени регистрации цифрового сигнала от заряда аналогового сигнала; б) Пример распределения по времени срабатывания МРПК, определяемого относительно опорного времени. Время отклика МРПК поправлено на время-заряд корреляцию. Кривая представляет результат аппроксимации функцией Гаусса.

Интенсивность пучка в тестовой зоне была не более 100 Гц/см². Для того чтобы получить большую загрузку детектора, дополнительно применялись два радиоактивных источника – ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs. Активность ⁹⁰Sr источника была 9.4×10^8 Бк, а активность ¹³⁷Cs источника была 1.5×10^8 Бк. Источник ⁹⁰Sr имел диаметр активной зоны равный 10 мм; диаметр активной зоны ¹³⁷Cs был равен 6.1 мм. Вариация загрузки детектора обеспечивалась изменением расстояния между источниками и МРПК. Во всех измерениях расстояние между ⁹⁰Sr и катодом МРПК было больше 1.5 см, а между ¹³⁷Cs и катодом – не менее чем 2.5 см. Так как активная площадь детектора достаточно мала, то можно быть уверенным в однородности его облучения.

Результаты измерений

Перед началом работы оба образца МРПК прошли тренировку при радиационном облучении и повышенной температуре. Если при первом включении наилучшее временное разрешение “толстой” камеры было 74 пс, а “тонкой” – 68 пс, то после 10-часовой тренировки при температуре 35⁰С и при облучении ⁹⁰Sr источником, их временное разрешение улучшилось до 30 - 40 пс.

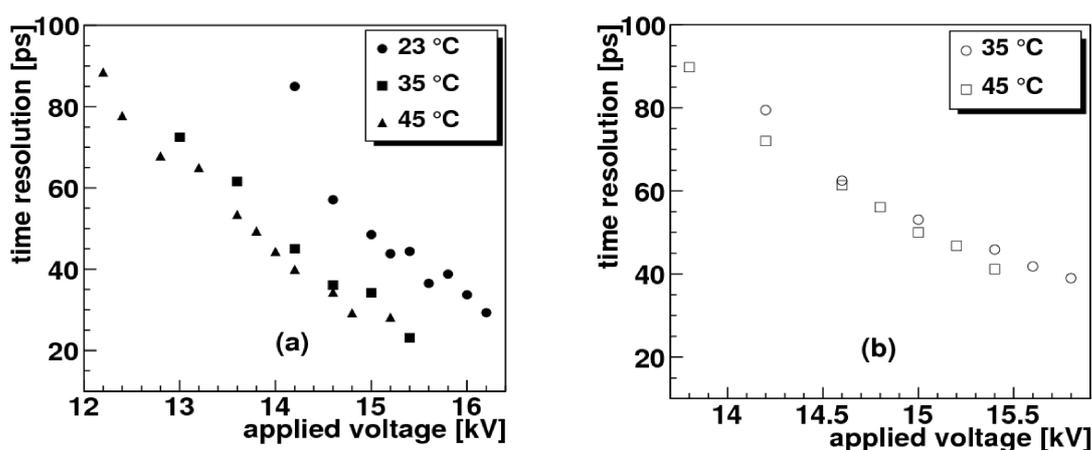


Рис. 3. Зависимость временного разрешения при различных температурах от HV: а) толстая МРПК; б) тонкая МРПК. Данные получены без загрузки от источника.

Измерения были проделаны при трех температурах: комнатной, которая равнялась 23⁰С и при нагреве до 35⁰С и 45⁰С. Из-за ограниченности по времени, измерения для тонкой камеры не делались при 23⁰С. На рис. 3 показано временное разрешение как функция приложенного напряжения (HV) для разных температур. Данные на рис. 3 получены в отсутствие радиоактивных источников. Из рисунка видно, что временное разрешение монотонно улучшается с увеличением HV. Однако, зависимость временного разрешения от рабочей температуры заметно более сложная – данные полученные при температурах 35⁰С и 45⁰С не имеют существенных различий при фиксированном напряжении, в то же время хорошо заметен сдвиг по напряжению, примерно в 1 кВ, между измерениями, сделанными при 35⁰С, 45⁰С и 23⁰С. Чтобы убедиться в достоверности данных, проводились повторные серии измерений с интервалом примерно в 8 часов. Разница в определении временного разрешения между разными сериями измерений обычно не превышала 3 пс. Величины газовых зазоров у камер одинаковые, поэто-

му можно было ожидать, что при малой нагрузке, временное разрешение у них тоже будет одинаковым. Но как следует из рис. 3 это ожидание не оправдывается.

Для краткости мы будем называть частицу пучка минимально ионизирующей частицей (МИЧ). Поведение среднего заряда, производимого МИЧ, и эффективности регистрации МИЧ в зависимости от HV показаны на рис. 4 для трех температур. Виден общий рост средних зарядов с увеличением температуры. При температуре 45°C, средние заряды сигналов примерно одинаковы для толстой и тонкой камеры и отличаются на 25% при 35°C. На рис. 4(b) можно видеть, что при HV больше, чем 14 кВ эффективность для обеих МРПК, при любой температуре, превышает 97%. Данных при напряжении ниже, чем выход на плато по эффективности немного. Поэтому мы не можем сделать каких-либо заключений о температурном поведении эффективности регистрации МИЧ.

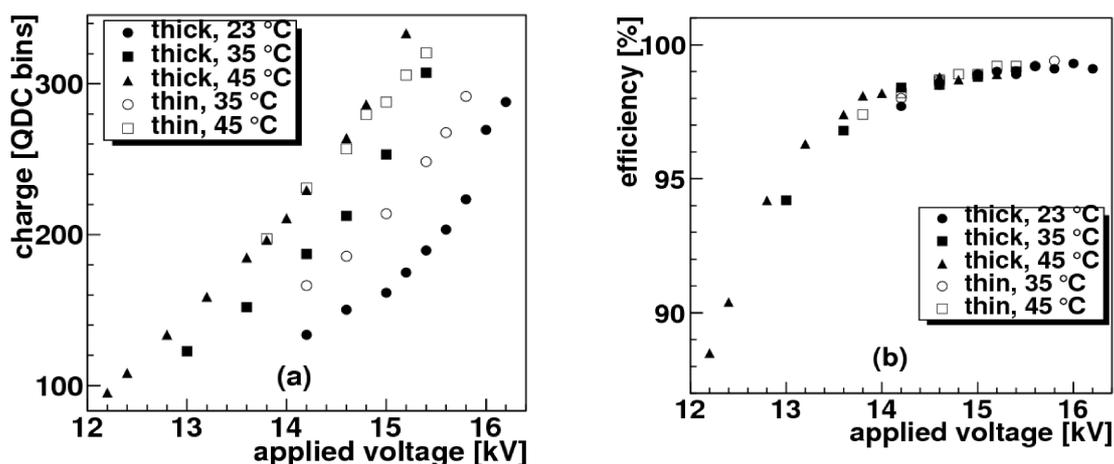


Рис. 4. Средние заряды, производимые МИЧ, (а) и эффективность детектора (b) как функция HV. Данные получены без загрузки от источника.

Распределение по заряду сигнала, производимого МИЧ, отличается от того, которое производит γ или β - источник. Это отличие можно видеть на рис. 5, где заряд показан для трех случаев: заряд только от радиоактивного источника 5(a), заряд производимый частицей пучка при дополнительном облучении радиоактивным источником 5(b); и зарядовый спектр от МИЧ в отсутствие радиоактивного источника 5(c). Для случая (a), система сбора данных запускалась сигналами, поступающими с самой МРПК (“режим самозапуска”). В остальных случаях триггерный сигнал вырабатывался

пучковыми счетчиками, через которые проходила частица. Представленные на рис. 5 данные относятся к тонкой МРПК, работающей при $NV = 15$ кВ. Низкий порог электроники, равный 13 фК (он соответствует 30-й бине на гистограммах рис. 5), позволяет хорошо отделять от пьедестала спектр заряда, вызываемого радиоактивными источниками.

Для рис. 5(a) и 5(b) счет с камеры составлял около 3 кГц/см². Из сравнения этих рисунков следует что, средний заряд, производимый МИЧ в 1.4 раза больше чем средний заряд от радиоактивного источника. Это соотношение сохраняется и для толстой МРПК. Было замечено, что появление даже небольшой радиационной загрузки приводит к подавлению хвоста зарядового спектра от МИЧ (рис. 5(b)), который был при минимальном облучении (рис. 5(c)).

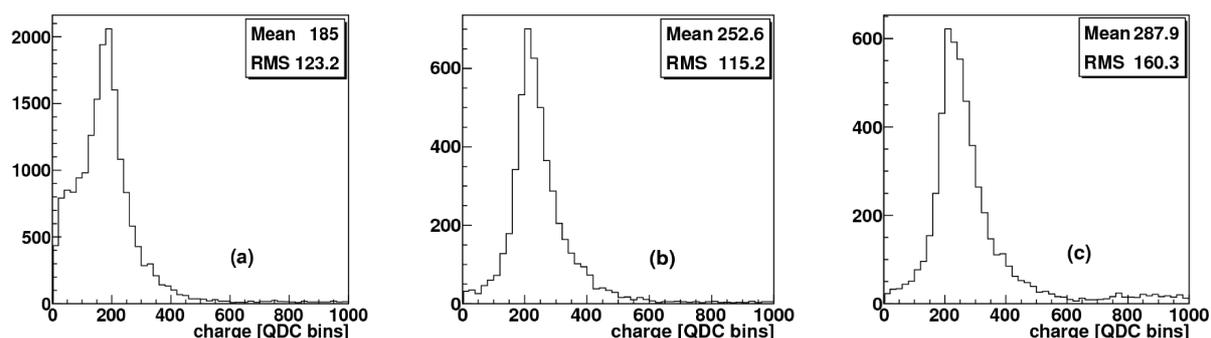


Рис. 5. Зарядовый спектр для тонкой МРПК при 35 °С: а) от радиоактивного источника; б) от МИЧ в присутствии радиоактивного источника; в) от МИЧ, в отсутствие радиоактивного источника.

Для всех температур и протестированных МРПК зависимость среднего заряда и эффективности от загрузки детектора показана на рис. 6. Из рисунка следует, что при увеличении рабочей температуры эффективность МРПК и средний заряд слабее зависят от загрузки. Из рис. 6 видно, что тонкая МРПК менее чувствительна к большим нагрузкам, чем толстая.

Загрузочная способность МРПК зависит от тока, протекающего через камеру, то есть она пропорциональна произведению: *средний заряд* \times *загрузка*. Как было показано ранее (рис. 5), средний заряд от радиоактивного источника меньше чем заряд от МИЧ

в 1.4 раза. Чтобы характеристики МРПК, измеренные с радиоактивным источником, перевести в поток минимально ионизирующих частиц, нужно преобразовать регистрируемый поток излучения с коэффициентом $k=(1.4 \times \varepsilon)^{-1}$, где ε обозначает эффективность, измеренную при данной загрузке. Подобную процедуру перенормировки потока можно встретить, например, в [14].

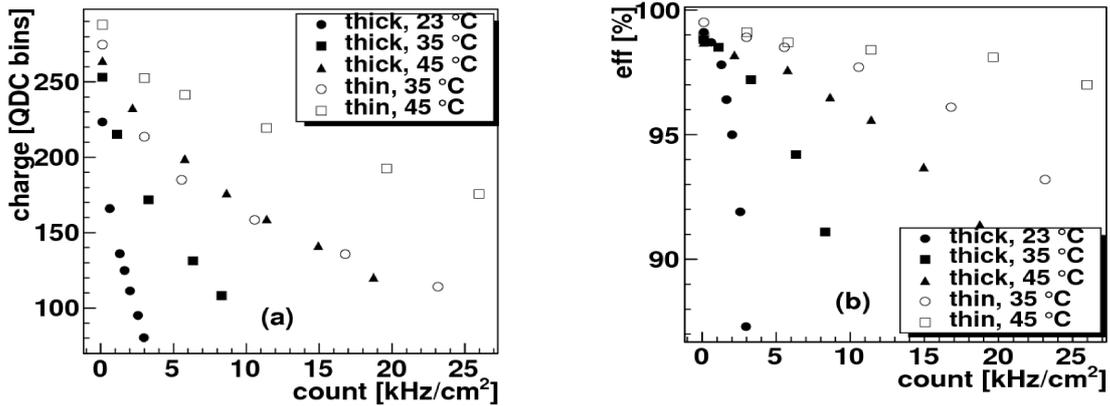


Рис. 6. Средний заряд и эффективность для МИЧ в зависимости от счета МРПК. Данные соответствуют HV: толстая при 23 °С – 15.8 кВ, толстая при 35 °С – 15.0 кВ, толстая при 45 °С – 14.6 кВ, тонкая при 35 °С – 15.6 кВ, тонкая при 45 °С – 15.0 кВ.

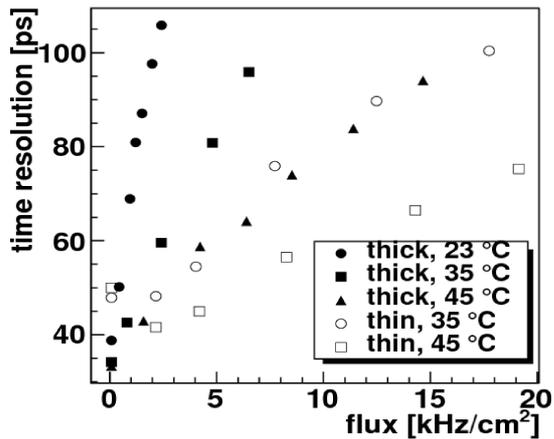


Рис. 7. Временное разрешение как функция потока МИЧ. Данные соответствуют HV: толстая при 23 °С – 15.8 кВ, толстая при 35 °С – 15.0 кВ, толстая при 45 °С – 14.6 кВ, тонкая при 35 °С – 15.6 кВ, тонкая при 45 °С – 15.0 кВ.

Конечный результат – зависимость временного разрешения от плотности потока МИЧ – представлена на рис. 7. Из рисунка следует, что требование иметь временное

разрешение не хуже 80 пс толстая МРПК может обеспечить при 23⁰С для загрузок до 1 кГц/см², при 35⁰С – для потока до 5 кГц/см², а при 45⁰С максимальный поток доходит до ~12 кГц/см². Для тонкой МРПК эти величины примерно в два раза больше: 12 кГц/см² при 35⁰С и 20 кГц/см² при 45⁰С. Эффективность срабатывания камер во всех измерениях, приведенных на рис. 7, была выше 90%.

Заключение

В представленной работе показано, что МРПК, изготовленная из промышленного стекла, способна выдерживать относительно большие загрузки. Если шестизазорную МРПК, сделанную из 0.16 мм стекла, нагреть до температуры 45⁰С, то при потоке МИЧ около 20 кГц/см² ее временное разрешение будет не хуже 80 пс. В дальнейших исследованиях стеклянной камеры с подогревом необходимо изучить, как меняются со временем ее характеристики.

Мы очень благодарны D. Gonzalez-Dias за инициализацию этой работы. Работа поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований (грант # 09-02-13565).

Список литературы

- [1] CBM Technical Design Report, January 2005, http://www.gsi.de/forschung/fair_experiments/CBM/
- [2] P. Senger, J. Phys. G. Nucl. Part. Phys. 28 (2002) 186.
- [3] MPD Conceptual Design Report version 1.4, http://nica.jinr.ru/files/CDR_MPD/MPD_CDR_1.4.pdf
- [4] A. Schuttauf, Nucl. Instr. and Meth. A533 (2004) 65.
- [5] P. Fonte, A. Smirnitski, M.C.S. Williams, Nucl. Instr. and Meth. A443 (2000) 201.
- [6] A. Akindinov, et al., IEEE Trans. Nucl. Sci. 48 (2001) 1658.
- [7] A. Akindinov, et al., Nucl. Instr. and Meth. A456 (2000) 16.
- [8] S. An et al., Nucl. Instr. Meth. A594 (2008) 39.
- [9] W. Riegler, C. Lippmann, R. Veenhof, Nucl. Instr. Meth. A500 (2003) 144.
- [10] V. Ammosov et al., Nucl. Instr. Meth. A576 (2007) 331.

- [11] L. Lopes et al, Nuclear Physics B (Proc. Suppl.) 158 (2006) 66.
- [12] C. Gustavino et al., Nucl. Instr. and Meth. A527 (2004) 471.
- [13] D.Gonzalez-Dias et al., Nucl. Instr. and Meth. A555 (2005) 72.
- [14] A. Akindinov et al., Nucl. Instr. and Meth. A490 (2002) 58.
- [15] http://www.king-ielec.com.tw/all/manuals/thermostat/th_0502n.pdf

Рукопись поступила 5 апреля 2012 г.

В.А. Гапиенко и др.

Исследование нагрузочной способности стеклянной многозачерной резистивной плоской камеры при повышении рабочей температуры.

Препринт отпечатан с оригинала-макета, подготовленного авторами.

Подписано к печати 16.04.2012. Формат 60 × 84/16. Офсетная печать.
Печ.л. 0, 94. Уч.– изд.л. 1,25. Тираж 80. Заказ 37. Индекс 3649.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142281, Протвино Московской обл.

Индекс 3649

ПРЕПРИНТ 2012-7, ИФВЭ, 2012
