

## МИКРОКАНАЛЬНЫЕ ПЛАСТИНЫ С ТОНКИМИ СЛОЯМИ $Al_2O_3$ ДЛЯ ФВВС-МОНИТОРИНГА

*А. В. Дрозд, Н. И. Калиниченко, Н. А. Макаров,  
Ф. Ф. Валиев\*, Г. А. Феофилов, А. М. Яфясов*

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Проведены эксперименты по нанесению молекулярных слоев  $Al_2O_3$  на микроканальные пластины (МКП) с целью увеличения коэффициента усиления детектора, разрабатываемого для быстрого мониторинга столкновения пучков на коллайдере NICA. Нанесение  $Al_2O_3$  на МКП позволило увеличить амплитуду сигнала детектора в 1,2–1,5 раза.

Experiments were carried out on the deposition of  $Al_2O_3$  layers on microchannel plates (MCPs) in order to increase the gain of a detector designed for fast monitoring of beam collisions at the NICA collider. The deposition of  $Al_2O_3$  on the MCP made it possible to increase the signal amplitude by a factor of 1.2–1.5.

PACS: 79.20.Nx

### ВВЕДЕНИЕ

С целью изучения свойств плотной барионной материи создается ускорительный комплекс NICA (Nuclotron based Ion Collider Facility). На этом комплексе предполагаются исследования свойств плотной барионной материи и изучение спиновой структуры протона и дейтрона и других спиновых явлений [1]. В работе [2] предложен быстрый мониторинг столкновения пучков (Fast Beam-Beam Collision monitor — ФВВС), основанный на применении МКП и предназначенный для работы с детекторными комплексами, строящимися на коллайдере NICA. В задаче ФВВС входит оценка таких характеристик события, как координата точки столкновения, множественность, центральность, момент времени, в которое произошло событие.

На рис. 1 приведена концептуальная схема детектора ФВВС. Он состоит из нескольких кольцевых детекторов на основе МКП, которые регистрируют заряженные частицы, образующиеся при столкновении пучков. Быстрое время нарастания сигнала МКП (менее 800 пс) позволяет использовать детектор для точной регистрации времени прилета частиц

---

\* E-mail: valiev07@list.ru

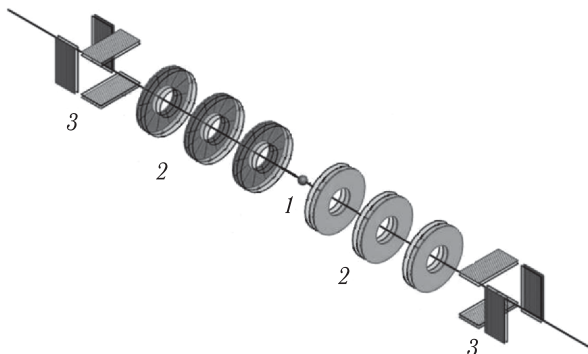


Рис. 1. Концептуальная схема FBBC: 1 — точка столкновения пучков; 2 — FBBC [2]; 3 — детектор профиля пучка [3]

и обеспечивать необходимую оценку характеристик события, отмеченных выше.

## МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Основными достоинствами детектора на МКП являются: малая длительность сигнала (менее 2 нс), короткий передний фронт сигнала, высокая радиационная стойкость и «прозрачность» для частиц высоких энергий. Важной характеристикой детектора является коэффициент усиления и, соответственно, большая амплитуда выходного сигнала, что позволяет разрабатывать эффективные схемы временной привязки. Актуальной задачей является оптимизация довольно широкого динамического диапазона сигналов МКП. Традиционная промышленная технология изготовления МКП на основе свинцово-силикатных стекол подходит к своему пределу совершенствования. Следовательно, необходим переход к новым технологиям и материалам, а также методам изготовления МКП, в том числе большой площади с повышенным коэффициентом усиления. Характерно, что традиционные способы нанесения тонких пленок, такие как термическое напыление, катодное распыление, магнетронное распыление, не годятся для решения поставленной задачи. Причина состоит в том, что перечисленные выше технологии предполагают прямолинейное движение напыляемых частиц в вакуумной камере, поэтому малое отношение диаметра канала МКП к толщине пластины не позволяет получить равномерную толщину пленки по всей поверхности канала.

В данной работе рассмотрен способ повышения коэффициента усиления МКП с помощью модификации поверхности каналов путем нанесения диэлектрического слоя методом молекулярного наплаивания ALD (Atomic Layer Deposition) [4, 5].

Основные принципы метода молекулярного наплаивания, положенные в основу проведения направленных и контролируемых химических реак-

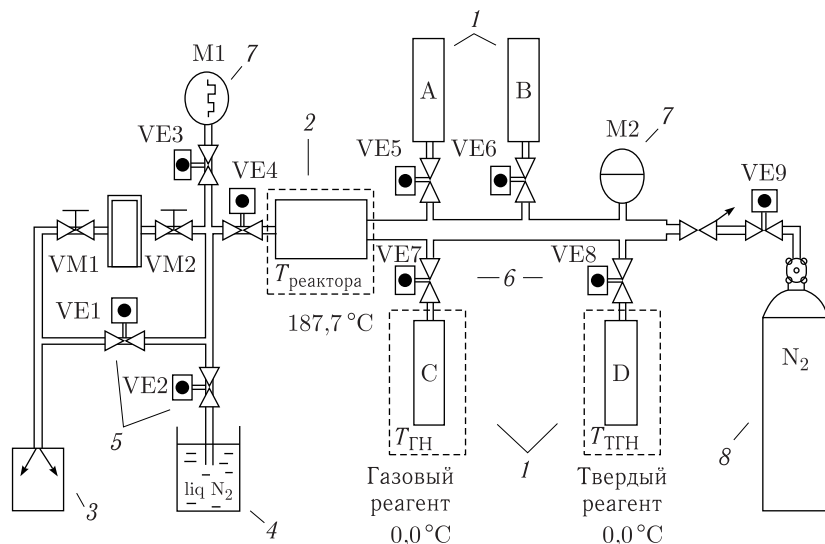


Рис. 2. Схема установки по нанесению молекулярных слоев методом ALD [5]: 1 — ампулы с жидкими прекурсорами; 2 — реакционная камера; 3 — вакуумный насос; 4 — охлаждаемая ловушка; 5 — вакуумные запорные вентили; 6 — электромагнитные клапаны напуска паров; 7 — датчики давления; 8 — баллон с азотом ОСЧ

ций и используемые для получения равномерных и однородных покрытий с дискретностью в один монослой вещества, сформулированы в работе [5].

Схема установки, на которой проводились опыты по нанесению молекулярных слоев, представлена на рис. 2. В реакционную камеру устанавливаются тестируемые МКП, предварительно исследованные на пучке ионизирующих частиц. После обработки в камере методом ALD происходит повторная проверка самих МКП и сборок детекторов. Соотношение амплитуд сигналов до нанесения  $Al_2O_3$  и после нанесения слоев позволяет определить коэффициент увеличения сигнала МКП-детектора.

В настоящей работе использовались образцы МКП диаметром 24 мм и толщиной 300 мкм с каналами диаметром 5–6 мкм. Отношение длины канала детектора к толщине пластины порядка 50–60. Нами были рассчитаны необходимые дозы экспозиции реагентов на каждой стадии синтеза. Для оценки кинетической модели диффузии прекурсоров была определена минимальная длительность импульса подачи прекурсоров, чтобы стехиометрия пленки была гарантирована. Полученные оценки показали, что для каналов с аспектным отношением 60, что соответствует случаю МКП, время выдержки (подачи паров прекурсора) должно быть в 3000 раз больше, чем время для гладкой плоской подложки с такой же поверхностью. Для плоской гладкой поверхности подложки расчет

дозы прекурсора дает величину три ленгмюра (3 Л) для полного насыщения поверхности функциональных групп до получения монослойного покрытия. Соответственно, для покрытия поверхности рассматриваемого канала потребовалось 9000 Л.

Синтез проводился при температуре 200 °С. В качестве прекурсоров для получения эмиссионных слоев оксида алюминия использовались триметилалюминий и вода. При температуре 200 °С за цикл образуется на поверхности 1,2–1,3 Å оксида алюминия. Также изучена возможность получения слоев оксида алюминия с озоном и триметилалюминием в качестве прекурсоров. При такой же температуре синтеза рост пленки за цикл составлял 1,8–1,9 Å.

После покрытия тестируемых образцов МКП  $\text{Al}_2\text{O}_3$  толщиной 30 нм амплитуда сигнала возросла в 1,5 раза. Для образцов толщиной 10 нм амплитуда увеличилась почти в 2,5 раза. На рис. 3 приведены осциллограммы, показывающие сигнал до и после напыления. Через несколько недель проводились повторные измерения, показавшие те же результаты.

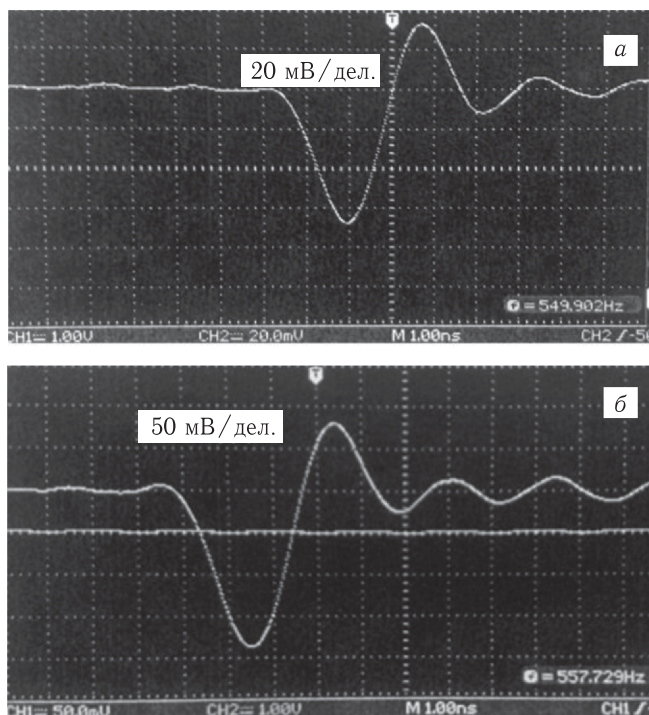


Рис. 3. Сигнал от альфа-источника на выходе шевронной сборки МКП-детектора до нанесения  $\text{Al}_2\text{O}_3$  толщиной 10 нм (а) и после (б)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе показано, что использование метода молекулярного наслаивания для нанесения диэлектрического покрытия  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на МКП позволяет увеличить амплитуду выходного сигнала в 1,2–1,5 раза. Установлено, что на усиление работы МКП в режиме детектирования частиц сильно влияет толщина покрытия диэлектрического слоя. После покрытия тестируемых образцов МКП  $\text{Al}_2\text{O}_3$  толщиной 30 нм амплитуда сигнала возросла в 1,5 раза. Для образцов толщиной 10 нм амплитуда увеличилась почти в 2,5 раза. Экспериментально показано, что пластины МКП с покрытием  $\text{Al}_2\text{O}_3$  не теряют своих свойств при контакте с воздухом.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-02-40097/19).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://nica.jinr.ru/ru/>
2. *Baldin A. A., Feofilov G. A., Har'yuzov P., Valiev F. F.* Fast Beam–Beam Collisions Monitor for Experiments at NICA // Nucl. Instr. Meth. A. 2020. V. 958, No. 1. P. 162154.
3. *Baldin A. A., Berlev A. I., Kudashkin I. V., Fedorov A. N.* Detector Based on Microchannel Plates for Monitoring Space-Time Characteristics of a Circulating Beam at Nuclotron // Phys. Part. Nucl. Lett. 2014. V. 11. P. 121–126.
4. *Кольцов С. И., Алесковский В. Б., Волкова А. А.* Синтез твердых веществ заданного состава и строения методом молекулярного наслаивания // Адсорбаты, их получение, свойства и применение: Тр. 3-го Всесоюз. совещ. по адсорбции. Л.: Наука, 1971. С. 29–34.
5. *Кольцов С. И.* Синтез твердых веществ методом молекулярного наслаивания. Дис. ... д-ра хим. наук. Л.: Ленинград. технол. ин-т им. Ленсовета, 1971. 39 с.