

7. Атомная и Ядерная физика

Бураева Елена Анатольевна, 3 год аспирантуры
аспирантура НИИФ РГУ, физический

Получение радиоактивных растворов радионуклидов- реперов на тормозном излучении микротрона СТ для калибровки эффективности полупроводниковых детекторов в области энергий меньше 120 кэВ.

Научный руководитель: Давыдов Михаил Гаврилович, д. ф. - м. н., профессор, зав. отделом ядерной физики НИИФ РГУ

Адрес: 344030, Ростов-на-Дону, Шолохова, 244

E-Mail: tanya@phys.rsu.ru стр.380

Достовалов Родион Владимирович, аспирант 3 года

Новосибирский Государственный Технический Университет, Физико - технический

Стенд для исследования свойств криосорберов

Научный руководитель: Кулипанов Геннадий Николаевич, д. ф. - м. н., проф. КЭФУиУ НГТУ, НГТУ, ИЯФ СО РАН

Адрес: "630090 Новосибирск пр.Лаврентьева д.11 (ИЯФ СО РАН); 630092 Новосибирск, пр.К.Маркса д. 20 (НГТУ)"

Телефон: 8-383-2-39-42-02

E-Mail: R.V.Dostovalov@inp.nsk.su стр.381

Симоненко Александр Валерьевич, 6 курс, магистр

Объединенный Институт Ядерных Исследований Дубна Моск. Обл., Физический

Измерение пространственного и временного распределения пучка синхрофазотрона.

Научный руководитель: Карнаухов Виктор Александрович, д. ф. - м. н., нет, ОИЯИ г.Дубна Моск.обл.

Адрес: 394088 г.Воронеж ул.Новгородская д.125 кв.43

E-Mail: tigrasav@rambler.ru стр.384

Федоров Никита Вячеславович, аспирант

НГТУ, физико-технический

Эффект фотонно-стимулированной откачки в вакуумной камере с распыленным геттером TiZrV

Научный руководитель: Кулипанов Геннадий Николаевич, д. ф. - м. н., нет,

Адрес: 630090 Новосибирск, пр. Лаврентьева 11

E-Mail: nfedorov@inp.nsk.su стр.386

Федоров Никита Вячеславович, аспирант

НГТУ, физико-технический

Исследование фотодесорбционных свойств вакуумной камеры с напыленным геттером TiZrV

Научный руководитель: Кулипанов Геннадий Николаевич, д. ф. - м. н., нет,

Адрес: 630090 пр. Лаврентьева 11

E-Mail: nfedorov@inp.nsk.su стр.389

Получение радиоактивных растворов радионуклидов-реперов на тормозном излучении микротрона СТ для калибровки эффективности полупроводниковых детекторов в области энергий <120кэВ.

Елена Анатольевна Бураева

Евгений Николаевич Шварцман

Илхом Бахранович Рахманов

Ростовский Государственный Университет

НИИ Физики

Давыдов Михаил Гаврилович, д.ф-м.н

tanya@phys.rsu.ru

Из-за возрастания эффекта самопоглощения гамма-излучения в объемном образце с понижением энергии гамма-квантов E калибровка полупроводниковых детекторов для низкоэнергетической области вызывает значительные трудности.

Для калибровки эффективности полупроводниковых детекторов $\varepsilon(E_\gamma)$ с учетом самопоглощения гамма-квантов в реальном счетном образце $k(E_\gamma)$ при $E_\gamma < 120$ кэВ удобно использовать стандартные образцы, приготовленные на основе анализируемого материала, пропитанного образцовым радионуклидным раствором (ОРР).

Радионуклид-репер в этом ОРР должен иметь достаточно большой $T_{1/2}$, излучать гамма-кванты с $E_\gamma > 120$ кэВ (по которым определяется его абсолютная активность в ОРР) и с $E_\gamma < 120$ кэВ (по которым определяются $\varepsilon(E_\gamma)k(E)$).

Для этих целей кроме ОРР централизованной поставки можно использовать специально приготовленные и аттестованные в лабораторных условиях ОРР. В условиях нашей лаборатории аттестация РР выполнялась на установке РЭУС-П-15 на основе Ge(Li)-детектора в низкофоновой камере (рабочий эталон II разряда).

Радионуклиды-реперы получали путем активации нерастворимых мелкодисперсных мишеней в дистиллированной воде на пучках тормозного излучения микротрона СТ. Переход продуктов фотоактивации с поверхности частиц мишени в воду в результате ядерной отдачи обеспечивает, в принципе, достаточную для калибровочных целей активность радионуклида-репера при минимальном содержании стабильных изотопов-носителей. Это исключает изменение заряда $Z_{эф}$ и плотность ρ образца-эталоны при введении в него радионуклида-репера в виде ОРР.

Для постановки экспериментов по фотоактивации различных мишеней разработаны, созданы и использованы три узла активации для микротрона СТ: Два для внутрикамерного облучения малых мишеней пучком большой интенсивности с энергиям от 5 до 21 МэВ (ВКО-1и ВКО-2) и один для

облучения на выведенной пучке мишеней большого объема при энергии 21 МэВ (ВО-1).

Для опробования предлагаемого способа наработки радионуклидов-реперов и их использования для калибровки $\varepsilon(E_\gamma)k(E_\gamma)$ полупроводниковых детекторов было отобрано 22 радионуклида-репера и 16 материалов мишеней, удовлетворяющих ряду установленных требований. Радионуклиды-реперы имели $T_{1/2}$ более 2 сут и линии МГИ и ХРИ от 5 кэВ до 100 кэВ. Мишени представляли собой нерастворимые окиси и простые соли элементов от Cr до Pb.

Из нескольких первых серий активации при $E_{\gamma m}=21$ МэВ сеансами по $t_0=2\div 6$ час с паузой после активации от 1 до 30 сут удовлетворительные по радиометрической чистоте и по удельной активности результаты были получены для ряда радионуклидов, в том числе: ^{139}Ce 137.63 дн $A_0=5444\pm 30$ Бк/л; ^{141}Ce 32.5 дн $A_0=1585\pm 33$ Бк/л; ^{203}Hg 46.59 дн $A_0=4804\pm 50$ Бк/л; ^{203}Pb 52 час $A_0=3460\pm 35$ Бк/л и другие.

Полученные к настоящему времени ОРР использованы для калибровки геометрии D1 ($V=0.1$ л) и D2 ($V=0.04$ л) с почвами и донными отложениями и установки РЭУС-II-15 в области энергий 40-120 кэВ. Это позволило определять в реальных пробах радионуклиды ^{210}Pb и ^{234}Th . В условиях первого эксперимента были получены удельные активности ^{85}Sr (64.73 дн), ^{133}Ba (10.57 дн), ^{136}Cs (12.98 дн), около 200 Бк/л, а радионуклидов ^{75}Se (118.45 дн), ^{121}Te (17 дн), ^{51}Cr (27.73 дн) и др. еще меньше. Измеренные коэффициенты перехода радионуклидов из твердой фазы в раствор оказались на уровне 20%. Для увеличения выхода ряда радионуклидов необходимо увеличивать время облучения, массу или дисперсность мишеней.

Стенд для исследования свойств криосорберов

Родион Владимирович Достовалов

Новосибирский Государственный Технический Университет,

Институт Ядерной Физики им. Г.И. Будкера СО РАН

Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н. Кулипанов Г.Н.

R.V.Dostovalov@inp.nsk.su

В строящемся сверхпроводящем адронном суперколлайдере LHC (CERN, Женева, Швейцария) предполагается использование в вакуумной камере специальной вставки (лайнера) с целью уменьшения тепловой нагрузки на криогенную систему коллайдера вызываемой синхротронным излучением (СИ) пучка протонов и выделяемой активной мощностью наведенного этим пучком движущегося заряда на стенках вакуумной камеры. Кроме того, предполагается использовать распределенную откачку вакуумной камеры криосорбирующим материалом расположенном на защищенной от СИ внешней стороне лайнера и находящемся при температуре от 5 до 20 К [1]. Детальное изучение этой

проблемы проводиться вакуумной группой LHC CERN совместно с ИЯФ СО РАН (Новосибирск, РФ).

В настоящее время в ИЯФ разработан экспериментальный стенд, предназначенный для моделирования и исследования вакуумных параметров прототипа вакуумной камеры LHC (Рис.1). Конструкция установки включает в себя цилиндрическую вакуумную камеру 1 диаметром 50 мм, стенки которой находятся при гелиевой (4.2К) либо азотной (77К) температуре, внутри которой расположен перфорированный лайнер 3. На внешнюю поверхность лайнера предполагается наносить различные типы исследуемых криосорберов. Вследствие слабого теплового контакта между стенками вакуумной камеры и лайнером и вследствие теплового излучения (а в LHC и СИ) происходит нагревание лайнера. Поэтому дополнительно лайнер охлаждается газообразным гелием по трубкам 2, поступающим в данной установке из 450-литрового дьюара оборудованного нагревателем 8. Тепловыми экранами криогенной вакуумной камеры являются охранный вакуум и трубки проточной азотной системы 6. Равномерная инжекция поглощаемого криосорбером газа достигается напуском газа в вакуумную камеру извне через проходящую внутри лайнера 12.4-мм диаметра трубку 4 с 10 отверстиями диаметром 0.5 мм, равномерно расположенными вдоль трубки. Длина трубки и лайнера 1м. Температура лайнера контролируется с помощью термосопротивления 7. Газовый поток определяется по разнице давления измеряемого датчиком общего давления BARATRON на входе калиброванной вакуумной проводимости 5 ($C=0.003$ литр/сек для H_2) и давления в вакуумной камере, которое измеряется магнитно-разрядной лампой ПММ-46 и лампой Байер-Альперта в теплой части установки и пересчитывается для холодной части согласно эффекту Кнудсена. Уровень потока устанавливается с помощью натекателя, связывающего напускной литровый объем с баллоном газа. Данная конструкция позволяет получать потоки газа от 10^{14} до 10^{17} молекул/секунду и температуры лайнера от 10 до 100 К. Это соответствует требованиям, предъявляемым к запланированным исследованиям для LHC.

Подготовлена также модернизация установки для исследования плоских образцов криосорберов в диапазоне температур от 5 до 100 К.

Beam Screen Outer Dimension	48.5 ± 0.2	38.9 ± 0.2
Beam Screen Acceptance at 4K	44.2	34.4

Рисунок 1.

Список публикаций:

[1]. "LHC: The Large Hadron Collider - Conceptual Design" - European Organization for Nuclear Research, CERN/AC/95-05 (LHC), p.139-149, 20 October 1995.

Измерение пространственного и временного распределения пучка синхрофазотрона.

Симоненко Александр Валерьевич

Дугинова Екатерина Викторовна

Воронежский Государственный Университет

Авдеев Сергей Петрович, к.ф.-м.н.

tigrasav@rambler.ru

В данной работе представлены результаты измерений временных и пространственных характеристик пучка сверхпроводящего ускорителя «Нуклотрон», ОИЯИ г. Дубна, находящегося в данный момент в стадии наладки. Представлены усредненные по времени характеристики пучка. Время усреднения составляло 7 ч. 45 мин., что соответствовало 3100 «сбросам» пучка.

Исследование временного профиля пучка осуществлялась при помощи многоканального анализатора ICA-70, работающего в мультискелерном режиме. Время записи в текущий канал 300 мкс. Данные поступали с установки «Фаза», экспериментальной системы по изучению процесса тепловой мультифрагментации ядер.

В качестве пространственного распределения пучка бралось пространственное распределение ^{24}Na , возникающего в результате бомбардировки Al фольги протонами с энергией 3 ГэВ. После облучения активность на поверхности Al фольги измерялась счетчиком Гейгера-Мюллера с шагом в 1 см по оси X и по оси Y в течение 1 мин. Делалась поправка на период полураспада ^{24}Na , равного 15.03 ч.

По итогам работы получены следующие результаты.

1. Полученная картина временной развертки пучка представлена на *рис. 1*

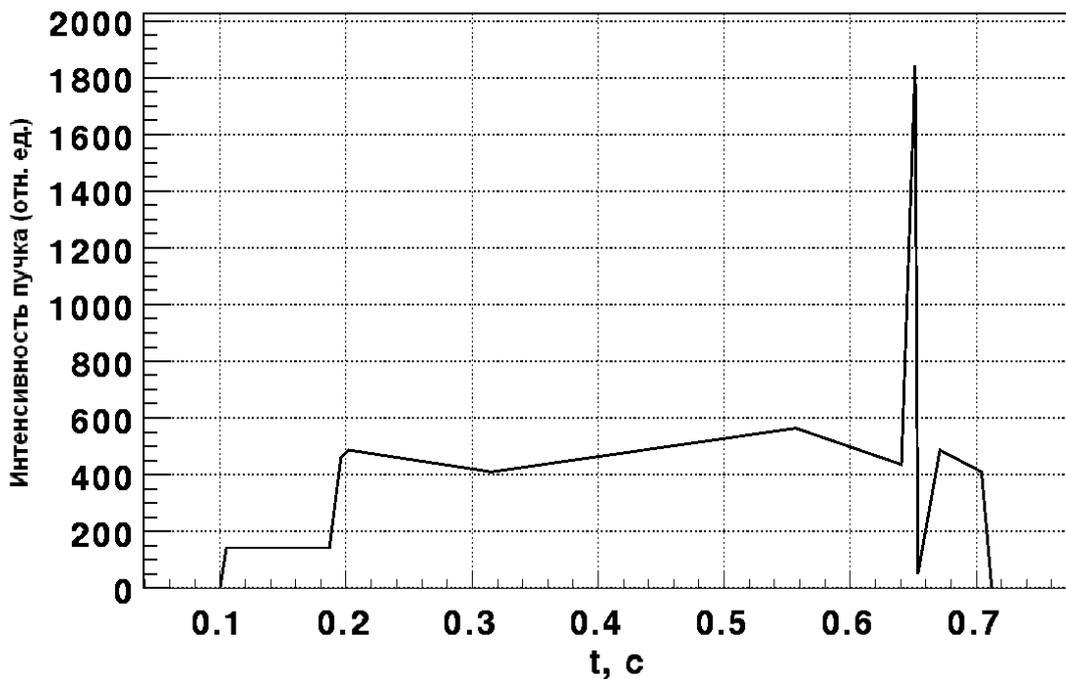


Рис.1. Временная характеристика выведенного пучка «Нуклотрона».

Длительность сброса (speel) частиц $\Delta t = 0,606\tilde{n}$. Из графика видно, что экспериментальный профиль пучка сильно неоднороден. Обнаруженный пик интенсивности свидетельствует о серьёзном отклонении характеристики пучка от требуемых норм, что ведет к большим перегрузкам анализаторных систем экспериментальных установок, работающих на пучке, и искажению экспериментальных данных.

2. Получено пространственное распределение пучка «Нуклотрона». Обнаружены отклонения в фокусировке: по горизонтали порядка 1см, по вертикали – 0,5см, плюс несимметричность по оси X (см. рис.2). Полуширина пучка по горизонтальной оси составила 5 см, по вертикальной оси – 4 см.

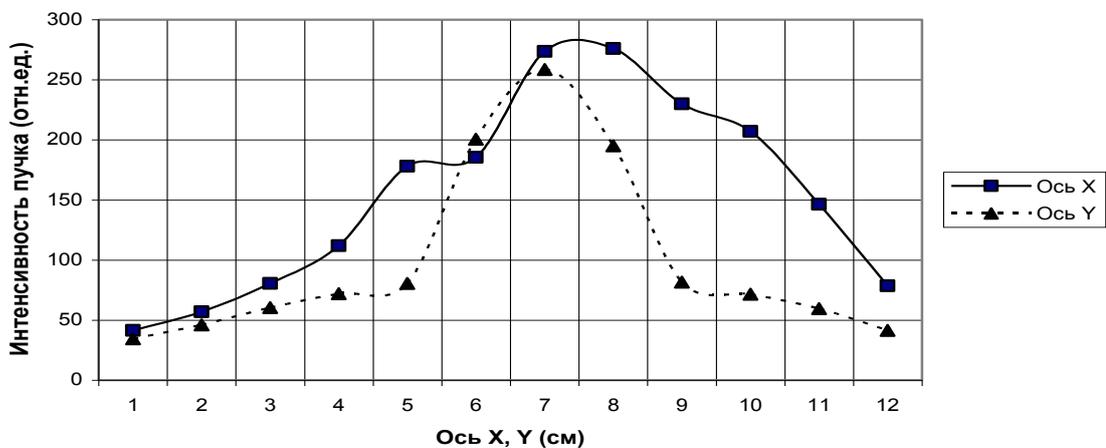


Рис.2. Пространственный профиль пучка по осям X и Y.

Выводы.

Данная методика позволяет качественно и количественно оценить параметры пучка и сделать вывод о его пригодности к использованию в конкретных экспериментальных исследованиях.

Эффект фотонно-стимулированной откачки в вакуумной камере с геттером системы TiZrV.

Федоров Никита Вячеславович

Новосибирский Государственный Технический Университет

Чл.-корр. РАН д.ф.-м.н. Кулипанов Г.Н.

nfedorov@inp.nsk.su

Изящным решением задачи обеспечения высокого вакуума в вакуумных камерах современных ускорителей является использование так называемых геттерных пленок системы TiZrV, наносимых на внутреннюю поверхность камеры. Такая процедура превращает внутреннюю поверхность вакуумной камеры из источника газовой выделенности в эффективный насос, позволяющий получить низкие давления как в статическом, так и в динамическом случае, т.е. при облучении синхротронным излучением (СИ). Для указанного геттера TiZrV обнаружен эффект динамического уменьшения плотности газа при постоянных газовых нагрузках с краев тест-камеры в присутствии СИ – эффект фотонно-стимулированной откачки. Предположительно этот эффект объясняет наблюдаемое экспериментально ненасыщение геттера при длительной тренировке камеры пучком СИ.

Исследования проходили на установке (*рис. 1*) на базе накопителя ВЭПП–3 ИЯФ СО РАН (Новосибирск) как источника синхротронного излучения. Критическая энергия фотонного спектра – 4.5 кэВ, фотонный поток $4.2 \cdot 10^{16}$ фотонов/с при токе пучка 100 мА. Энергия пучка: 2 ГэВ.

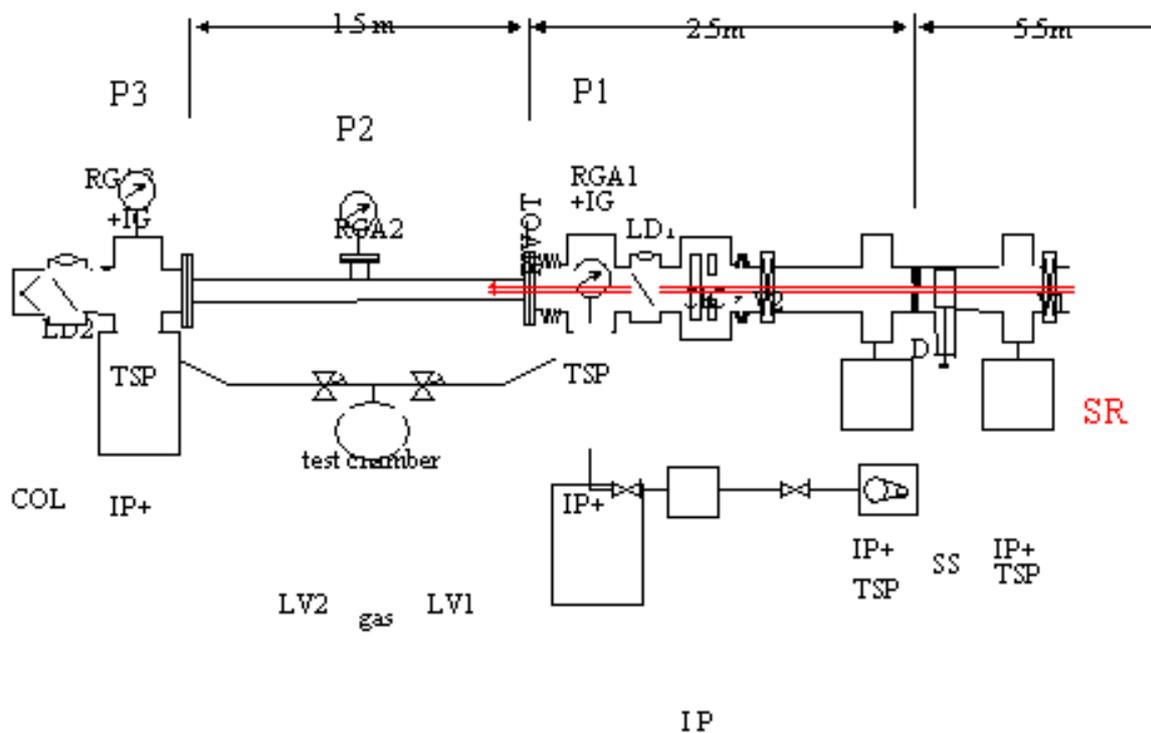


Рис.1. Экспериментальная установка для фотодесорбционных измерений.

SR – синхротронное излучение, Cv, Ch – коллиматоры, RGA – масс-спектрометр, IG – ионизационная лампа, LV1, LV2 – вакуумные клапаны, IP+TSP – насосы,

Поведение давления газа в аксиально-симметричной цилиндрической вакуумной камере при наличии геттерных стенок может быть описано следующим уравнением:

$$V \frac{\partial P}{\partial t} = \eta \Gamma k - \alpha C P + u \frac{\partial^2 P}{\partial z^2}; \quad (1)$$

где η (молекул/фотон) – коэффициент фотодесорбции; α – коэффициент прилипания;

C (см³/сек) – идеальная скорость откачки стенками; u – проводимость камеры.

В квазистатическом приближении $V \frac{\partial P}{\partial t} \approx 0$, и решением является следующая функция:

$$P(z) = \frac{\eta \Gamma}{\alpha C k} - \left(\frac{\eta \Gamma}{\alpha C k} - \frac{P_1 + P_3}{2} \right) \frac{ch(\sqrt{\alpha C / u z})}{ch\left(\frac{\sqrt{\alpha C / u L}}{2}\right)} + \frac{P_3 - P_1}{2} \frac{sh(\sqrt{\alpha C / u z})}{sh\left(\frac{\sqrt{\alpha C / u L}}{2}\right)} \quad (2)$$

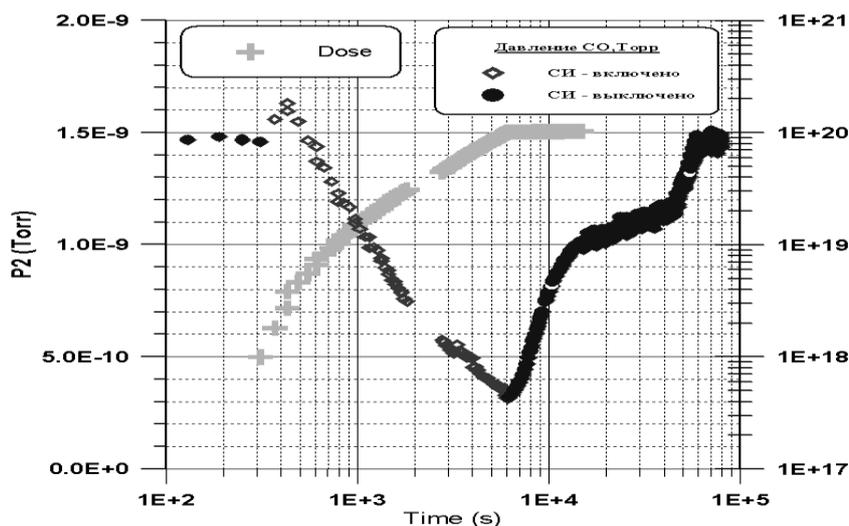
здесь P_1, P_3 – давления с краев, Γ – фотонный поток, $k = 3.2 \cdot 10^{19}$ молекул/л·Торр

Очевидно, что давление P_2 в центре вакуумной камеры есть:

$$P_2 = P(0) = \frac{\eta \cdot \Gamma}{k \alpha C} \left(1 - \frac{1}{\operatorname{ch} \left(\frac{\sqrt{\alpha C / u L}}{2} \right)} \right) + \frac{P_1 + P_3}{2 \operatorname{ch} \left(\frac{\sqrt{\alpha C / u L}}{2} \right)} \quad (3)$$

Было проведено исследование поведения газа СО по следующей методике: с краев поддерживалось постоянное давление СО $P_1 = P_3 = 10^{-9}$ Торр, при этом вакуумная камера подвергалась облучению фотонным потоком интенсивности $\Gamma = 4.2 \cdot 10^{14}$ фотон/с·мА. В процессе облучения при включенных потоках СО с краев было зарегистрировано заметное уменьшение давления по СО в центре P_2 (рис.2). За время облучения накопленная доза фотонов составила 10^{20} фотонов. При выключении облучения наблюдалось обратное повышение давления в центре вакуумной камеры.

Рис.2. Динамика давление СО в центре камеры под СИ. $P_1 = P_3 = 10^{-9}$ Торр.



В начале облучения скачок давления под действием СИ порядка 10^{-10} Торр, $\alpha = 0$, поэтому пренебрегая первым членом в (3) и оставляя члены второго порядка α , имеем:

$$P_2 \approx \bar{P} \left(1 - \frac{1}{2} \alpha \gamma^2 \right), \text{ и } P_2' = \frac{\partial P_2}{\partial t} \approx -\frac{1}{2} \gamma^2 \bar{P} \frac{\partial \alpha}{\partial t} \quad (4)$$

Полагая $\frac{\partial s}{\partial t} = -g \frac{\dot{\Gamma}}{A}$ и учитывая, что $\frac{\partial \alpha}{\partial t} = -\frac{\alpha_{\max}}{s_{\text{sat}}} \frac{\partial s}{\partial t}$, где A – площадь стенок, s_{sat} – поверхностная плотность молекул, $\gamma = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{C}{u}}$, α_{\max} – максимальный

коэффициент прилипания, можно получить оценку для коэффициента фотонно–стимулированной откачки: $g \approx 2 \cdot 10^{-5}$ молекул / фотон.

Исследование фотодесорбционных свойств вакуумной камеры с напыленным геттером TiZrV.

Федоров Никита Вячеславович

Новосибирский Государственный Технический Университет

Чл.-корр. РАН д.ф.-м.н. Кулипанов Г.Н.

nfedorov@inp.nsk.su

В современной ускорительной технике одной из задач является обеспечение необходимо низкого уровня давления в вакуумной камере ускорителя. Эта задача, как правило, усложняется из–за малой проводимости вакуумной камеры, а также – что наиболее существенно – за счет фотостимулированной десорбции газа со стенок камеры. Эффективное решение этой проблемы может быть получено в результате использования так называемых неиспаряемых геттерных пленок (НЭГ), наносимых на внутреннюю поверхность вакуумной камеры.

В 2001 году в результате совместного сотрудничества с вакуумной группой LHC CERN был проведен ряд исследований, направленных на изучение вакуумных свойств геттеров системы TiZrV, как вероятного материала для использования в теплой части пучковой камеры строящегося адронного суперколлайдера LHC. Было проведено подробное исследование динамического давления в вакуумной камере, изготовленной из нержавеющей стали с напыленным геттером TiZrV при облучении СИ. В результате обнаружено заметно низкое как статическое, так и динамическое давление для TiZrV по сравнению с традиционной нержавеющей сталью. Выявлена большая скорость откачки данным геттером основных остаточных газов, а также довольно низкая температура активации. Сделан вывод о целесообразности использования такой геттерной пленки для теплых участков коллайдера LHC.

Экспериментальные исследования проходили на специально разработанной установке (рис.1) на базе накопителя ВЭПП–3 ИЯФ СО РАН (Новосибирск) как источника синхротронного излучения. Критическая энергия фотонного спектра – 4.5 кэВ, фотонный поток $4.2 \cdot 10^{16}$ фотонов/с при токе пучка 100 мА. Энергия пучка: 2 ГэВ.

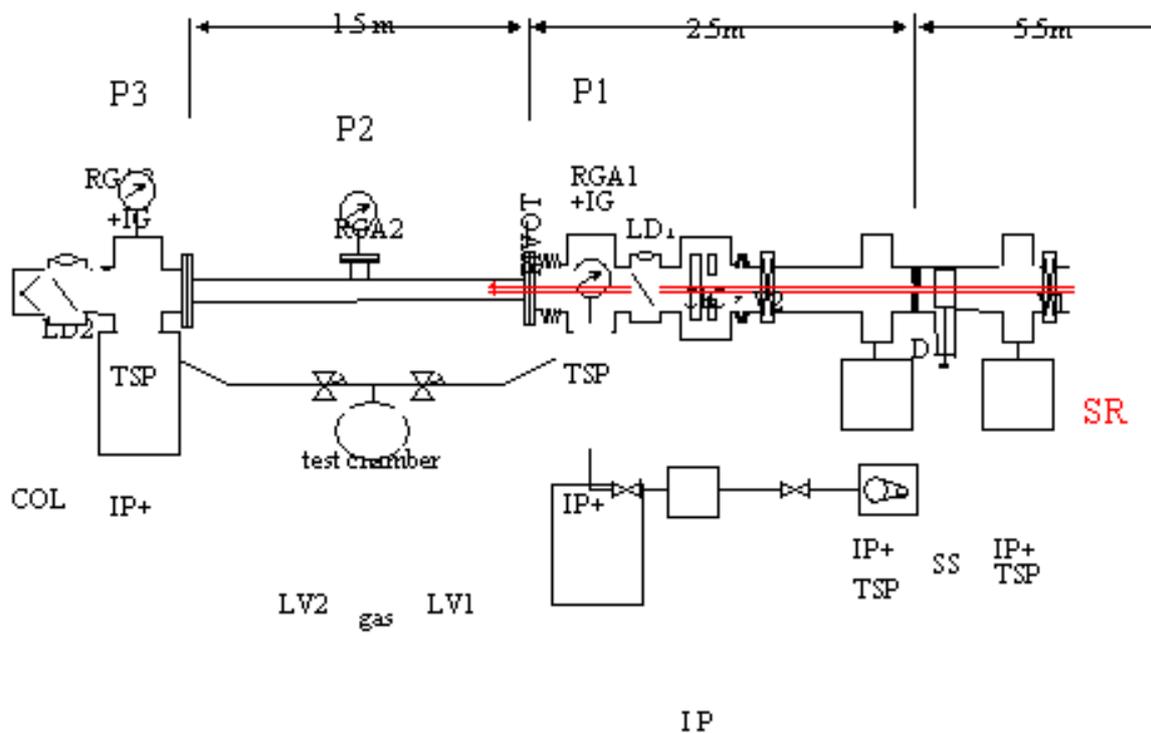


Рис.1. Экспериментальная установка для фотодесорбционных измерений.

SR – синхротронное излучение, *Cv, Ch* – коллиматоры, *RGA* – масс-спектрометр, *IG* – ионизационная лампа, *LV1, LV2* – вакуумные клапаны, *IP+TSP* – насосы.

Исследуемые вакуумные камеры длиной 1.5 м, с внутренним диаметром 24 мм, изготовлены из нержавеющей стали с нанесением 3-микронного покрытия TiZrV. Датчик центрального масс-спектрометра соединен с камерой через 10-мм отверстие, расположенное таким образом, чтобы минимизировать влияние отраженных фотонов на процесс измерения.

Изучение динамики давления в такой вакуумной камере осуществляется методом трех датчиков давления, расположенных в центре и по обоим краям. Такой способ позволяет корректно определять коэффициенты фотодесорбции газов при облучении СИ. Проводилось измерение коэффициентов фотодесорбции для нержавеющей вакуумных камер и камер, покрытых НЭГом. Также изучалось влияние различных условий активации на процесс газопоглощения геттером. Исследовались сорбирующие и фотодесорбционные свойства геттера при различных газовых нагрузках.

Основные результаты представлены на рис. 2.

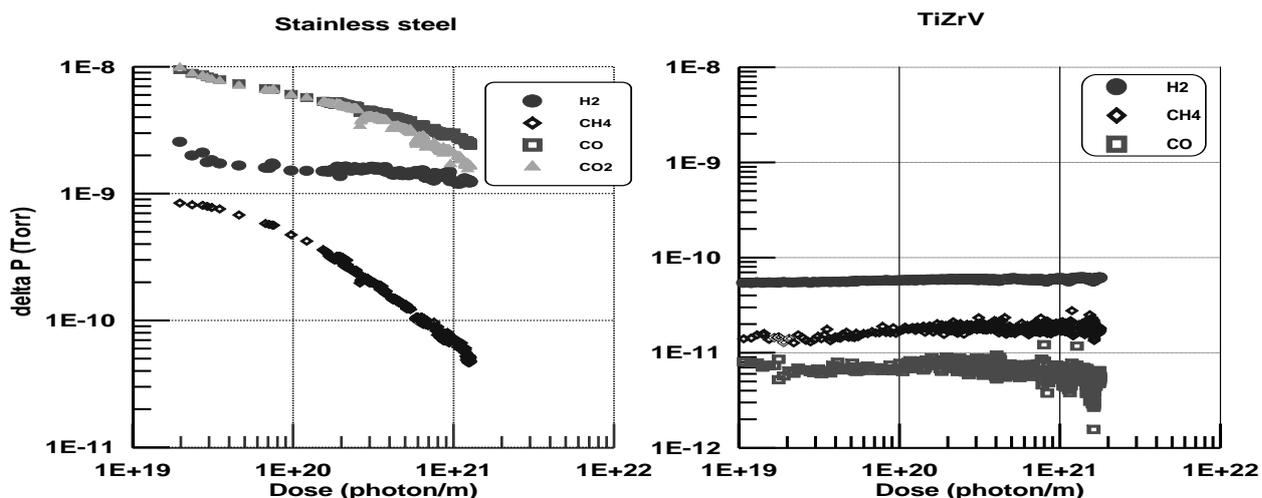


Рис.2. Динамическое давление в вакуумной камере из нержавеющей стали и камеры с активированным НЭГ.

Соответствующие коэффициенты фотодесорбции приведены в следующей таблице:

$\eta_{ss} \left(\frac{\text{молекул}}{\text{фотон}} \right)$	$Dose \left(\frac{\text{фотон}}{м} \right)$		$\eta_{TiZrV} \left(\frac{\text{молекул}}{\text{фотон}} \right)$	$Dose \left(\frac{\text{фотон}}{м} \right)$
H₂: 8·10 ⁻⁵ / 4·10 ⁻⁵	2·10 ¹⁹ / 1·10 ²¹		H₂: 2·10 ⁻⁵	2·10 ¹⁹ / 1·10 ²¹
CH₄: 1·10 ⁻⁵ / 5·10 ⁻⁷	2·10 ¹⁹ / 1·10 ²¹		CH₄: 2·10 ⁻⁷	2·10 ¹⁹ / 1·10 ²¹
CO: 8·10 ⁻⁵ / 2·10 ⁻⁵	2·10 ¹⁹ / 1·10 ²¹		CO: 7·10 ⁻⁶	2·10 ¹⁹ / 1·10 ²¹
CO₂: 7·10 ⁻⁵ / 1·10 ⁻⁵	2·10 ¹⁹ / 1·10 ²¹		CO₂: 2·10 ⁻⁵	2·10 ¹⁹ / 1·10 ²¹

В результате проведенных исследований обнаружено существенно более низкое динамическое (под действием СИ) и статическое давление остаточных газов для вакуумной камеры с напылением TiZrV, в сравнении с простой камерой из нержавеющей стали. Это, а также некоторые другие поверхностные свойства геттерных пленок, позволяет сделать выбор в пользу этого материала для использования в качестве покрытий в вакуумной камере коллайдера LHC.