

**Координатно-чувствительная система
диагностики пучка ускорителя на
основе микроканальных пластин
(МКП)**

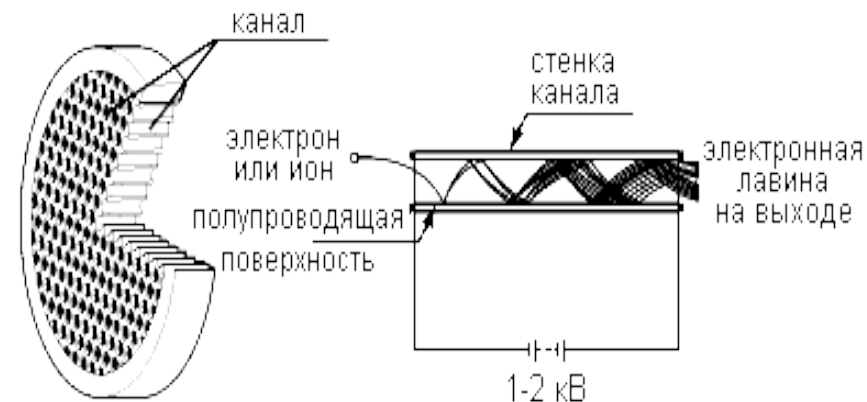
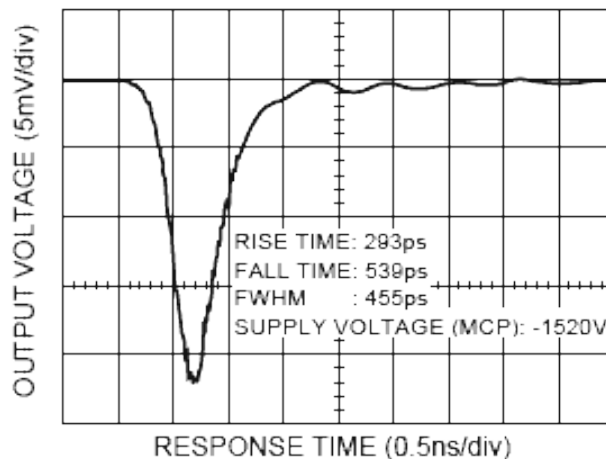
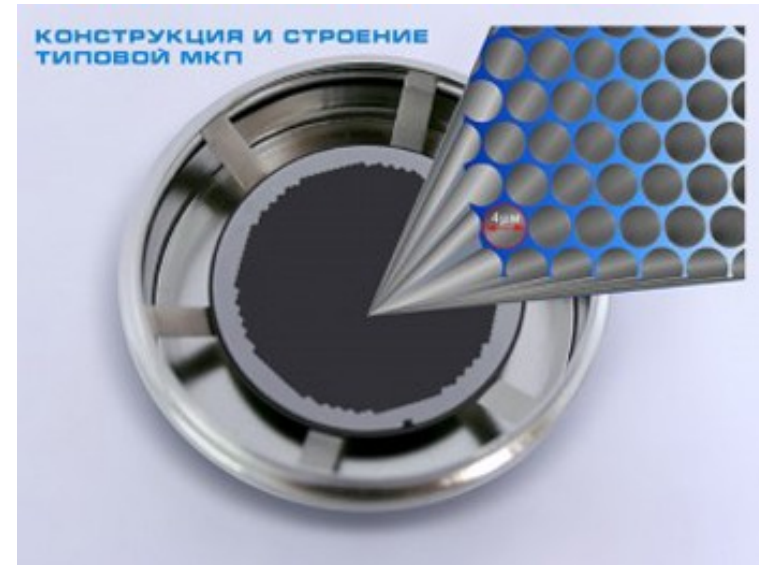
МИКРОКАНАЛЬНЫЕ ПЛАСТИНЫ (МКП)

(Microchannel plate, MCP)

Микроканальная пластина является электронным умножителем (прибором, основанным на эффекте вторичной электронной эмиссии) с неразделенными динодами.

Пластины изготавливаются из свинцового стекла толщиной 0,5 – 1 мм. Они представляют собой сотовые структуры из большого числа сквозных каналов (порядка 10^6) диаметром 5 – 25 мкм.

Стенки каналов представляют собой полупроводниковый слой, имеющий электрическое сопротивление от 20 до 1000 МОм, с коэффициентом эмиссии вторичных электронов от 1,2 до 2. Малый диаметр каналов позволяет достичь высокого пространственного разрешения, а небольшая длина микроканалов – рекордного временного разрешения.



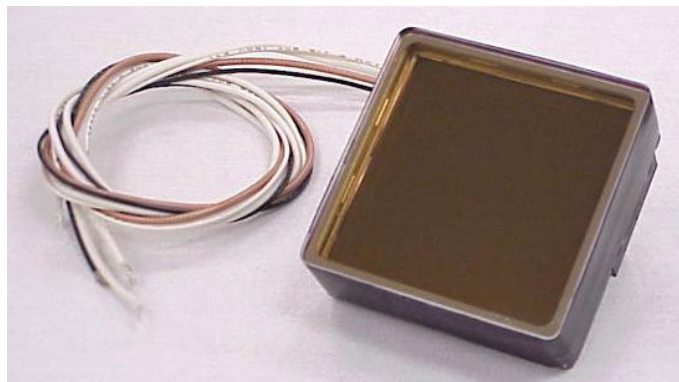
Примеры применения МКП

МКП — вид изделий вакуумной микроэлектроники. Предназначены для работы в вакууме в качестве многоканальных детекторов, преобразователей и вторично-электронных усилителей пространственно-организованных потоков заряженных частиц и излучений. Основное применение — преобразователь и усилитель яркости изображения индивидуальных приборов ночного видения.

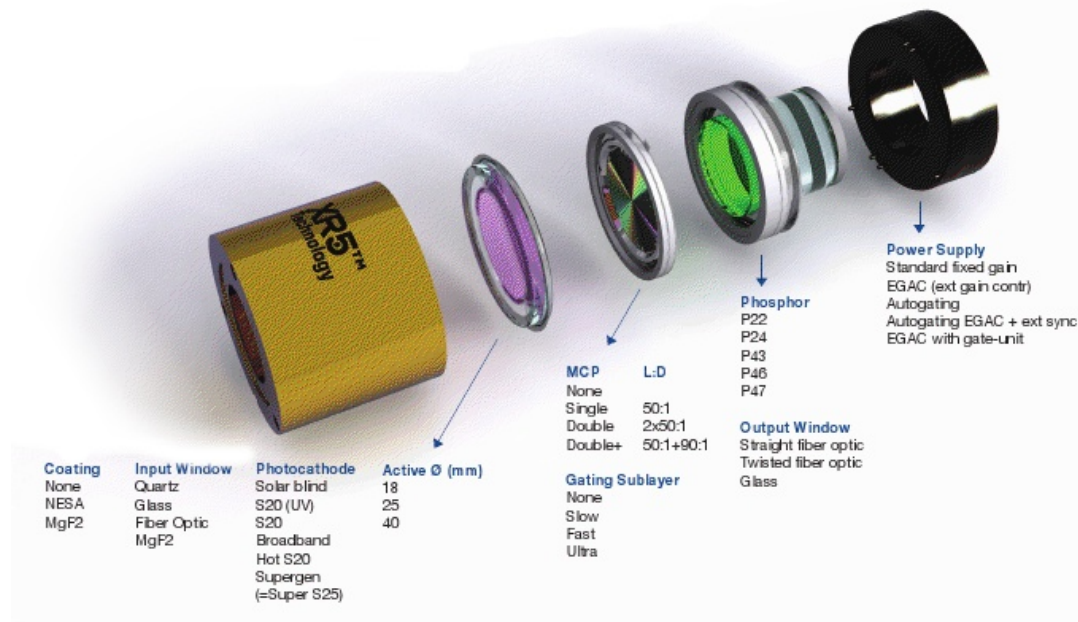
МКП, в целом, характеризуется высокой детектирующей и усилительной способностью, высоким пространственным разрешением (определяемым шагом каналов), высоким быстродействием, самонасыщением усиления, удобством управления усилением, **магнитоустойчивостью** (благодаря малым скоростям и коротким траекториям электронов) и др.

Поэтому МКП-приборы применяются в ядерной физике, физике плазмы, для изучения быстропротекающих процессов.

ФЭУ с МКП



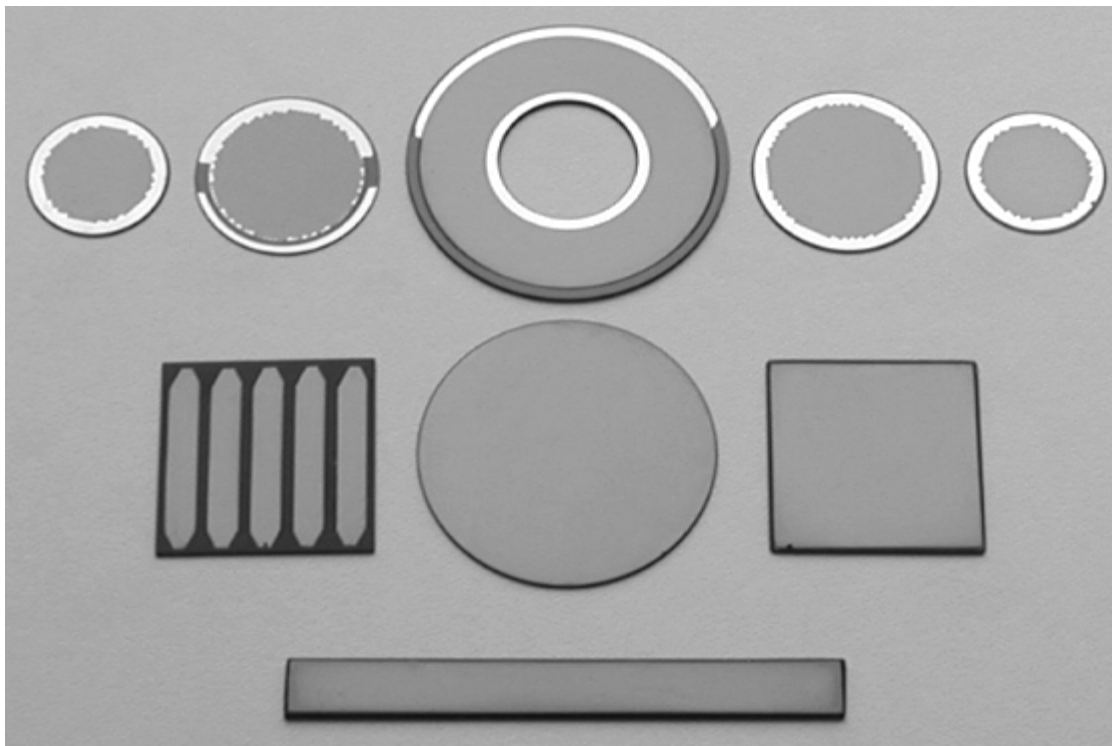
PLANACON XP85012



ООО «Владикавказский технологический центр "Баспик"»

ВТЦ "Баспик" разработал и освоил в производстве МКП с монолитным обрамлением, имеющие диаметр каналов 6— 10 мкм, угол наклона каналов 5—13°.

Номенклатура МКП, выпускаемых ООО ВТЦ "Баспик"



Прикладная физика № 5, 2006

362021, а/я 323 ; Россия, РСО - Алания, г.Владикавказ, ул.Николаева 44/ 6
тел / факс: +7 (8672) 24-19-61; сайт: www.baspik.com; e-mail: market@baspik.com

МКП ВТЦ "Баспик" (Владикавказ)

- не уступают или превосходят уровень зарубежных аналогов по величине предела разрешения, чистоте поля зрения (ЧПЗ), сопротивлению, усилению, "памяти".
- по механической прочности и формоустойчивости (величина прогиба) превосходят МКП США, Франции, Японии, Китая. У МКП США и других изготовителей при хранении отмечается треск, при этом доля разрушенных пластин достигает до 20 %.

МКП ВТЦ "Баспик" не трещат при хранении в течение двух лет в упаковке изготовителя.

- по электрической прочности при напряженности поля МКП-экран 12— 15 кВ/мм не уступают зарубежным аналогам, что позволяет эксплуатировать их в ЭОП при расстоянии МКП—экран 0,45—0,5 мм, напряжении на экранном промежутке 6—7 кВ и практически реализовывать предел разрешения, обусловленный геометрической структурой каналов МКП (для МКП 18—6 с диаметром каналов 6 мкм геометрический предел разрешения составляет 74 пар лин/мм, а для МКП 18—5 с диаметром каналов 5 мкм — 93 пар лин/мм).
- выдерживают обезгаживание при температурах 460—500 °С без деформации конструкции или ухудшения параметров. Большинство зарубежных МКП не позволяют проводить обезгаживание при температуре выше 400 °С.

КРЕМНИЕВЫЕ И КВАРЦЕВЫЕ МИКРОКАНАЛЬНЫЕ ПЛАСТИНЫ

Базовая Si-МКП имеет следующие характеристики:

Микроканалы квадратное сечение с осью $\langle 100 \rangle$ и стенками $\{011\}$

- поперечный размер $3 \div 9$ мкм
- длина $5 \div 400$ мкм
- толщина стенки $0,5 \div 4$ мкм
- угол наклона $0 \div 10^\circ$

Коэффициент прозрачности $0,6 \div 0,9$

Институт физики полупроводников СО РАН,
просп. ак. Лаврентьева, 13, г. Новосибирск, 630090

Ученый секретарь к.ф.-м.н. Лучинин Сергей
Данилович

Тел.: (383) 333-24-88, факс: (383) 333-27-81

E-mail: luch@isp.nsc.ru

<http://www.isp.nsc.ru>



внешний вид пластин диаметром 25 мм



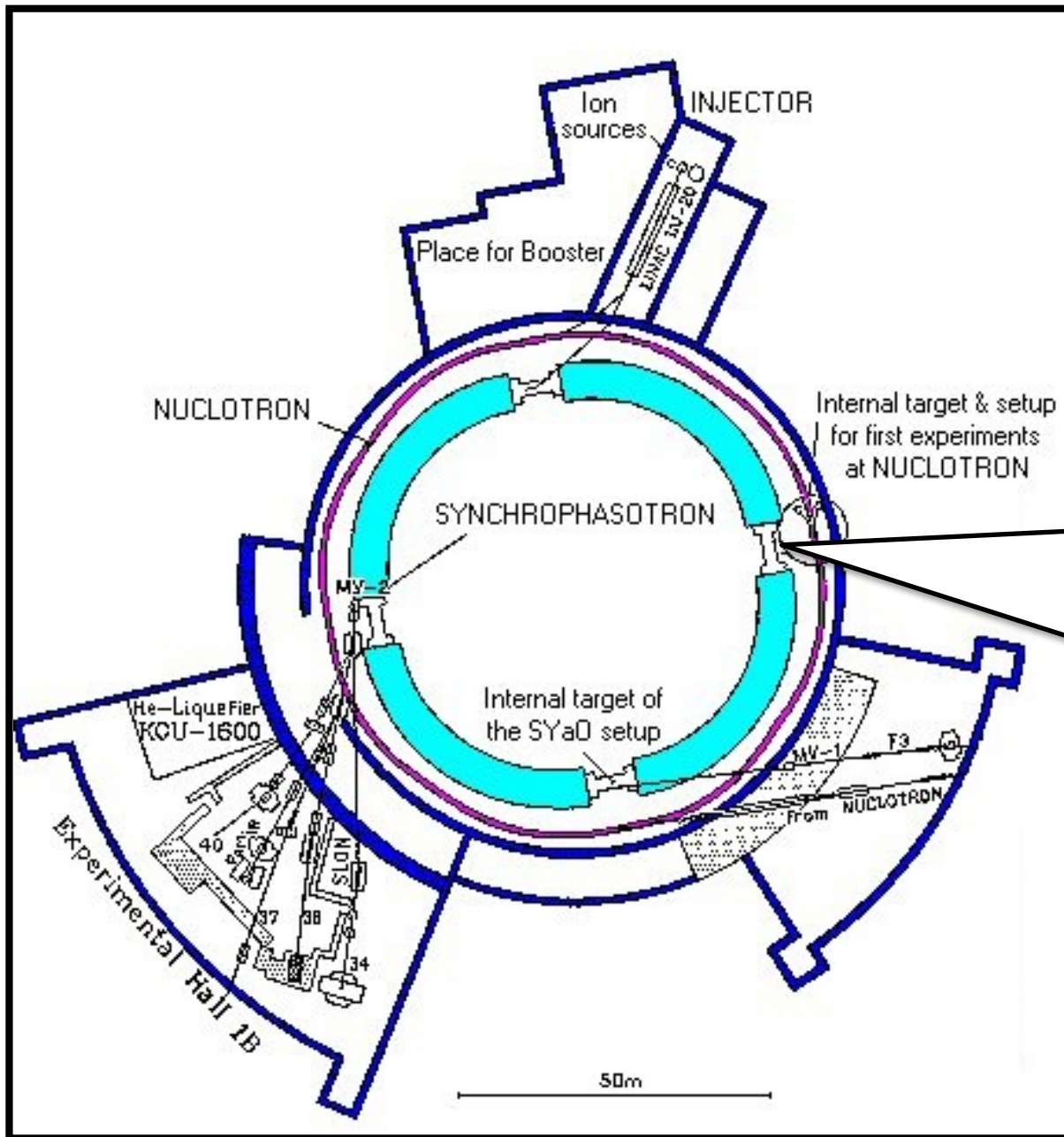
вид на просвет

идея метода диагностики пучка ускорителя

- для регистрации пространственно-временных характеристик пучка ускорителя используется **ионизация остаточного газа в камере ускорителя**
- детектор такого типа на основе ВЭУ уже используется в системе диагностики Нуклотрона ОИЯИ, но он не обладает необходимыми пространственными характеристиками
- для регистрации пространственно-временных характеристик пучка ускорителя используется детектор на основе МКП, **расположенный вне пучка**
- в основе данной разработки лежат попытка создания такой системы, приведенной в работе:

А.А. Балдин и др. «Система диагностики циркулирующего пучка Нуклотрона на основе МКП». Краткие сообщения ОИЯИ №2 [82]-97, с. 15-22.

Нуклотрон

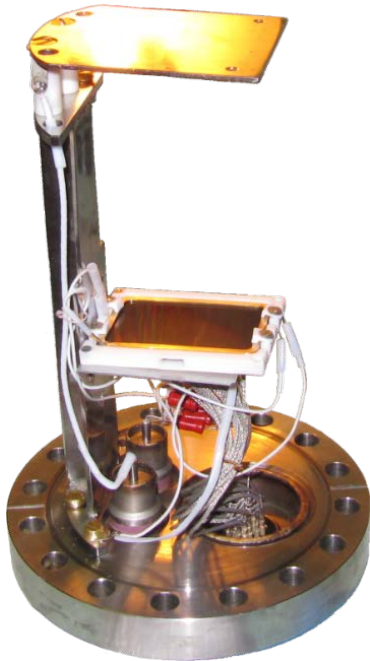


**Detector for
beam
monitoring**

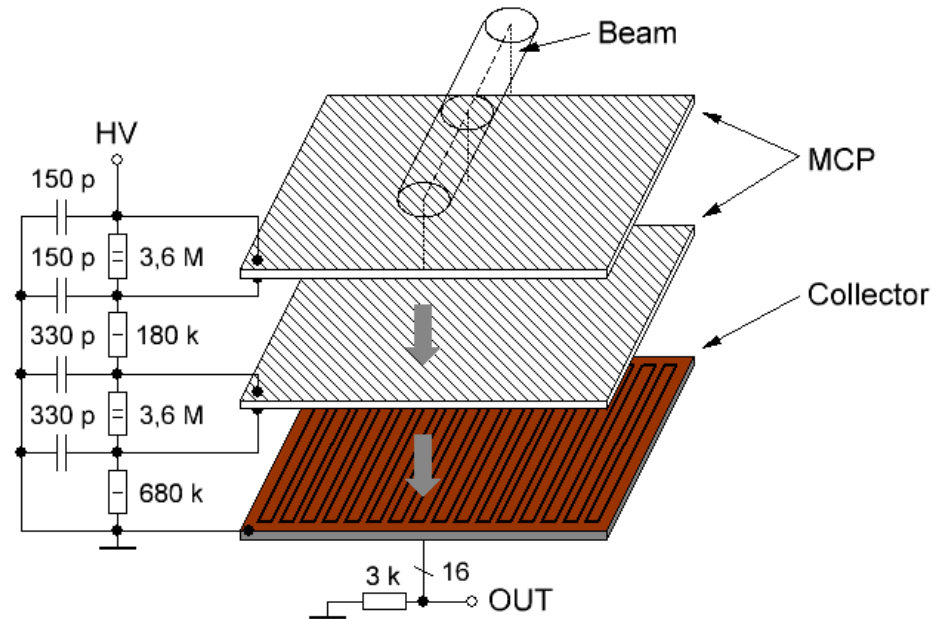
Конструкция прототипа детектора

Детектор состоит из двух МКП (шевронная сборка), расположенных на расстоянии 250 мкм. Размеры пластин 43×63 мм, диаметр каналов 15 мкм.

В качестве коллектора электронных лавин использовались электрически изолированные друг от друга контактные площадки (ламели) – позиционно чувствительные аноды.



Detector prototype.



Schematic view of the prototype of coordinate-sensitive detector based on MCP.

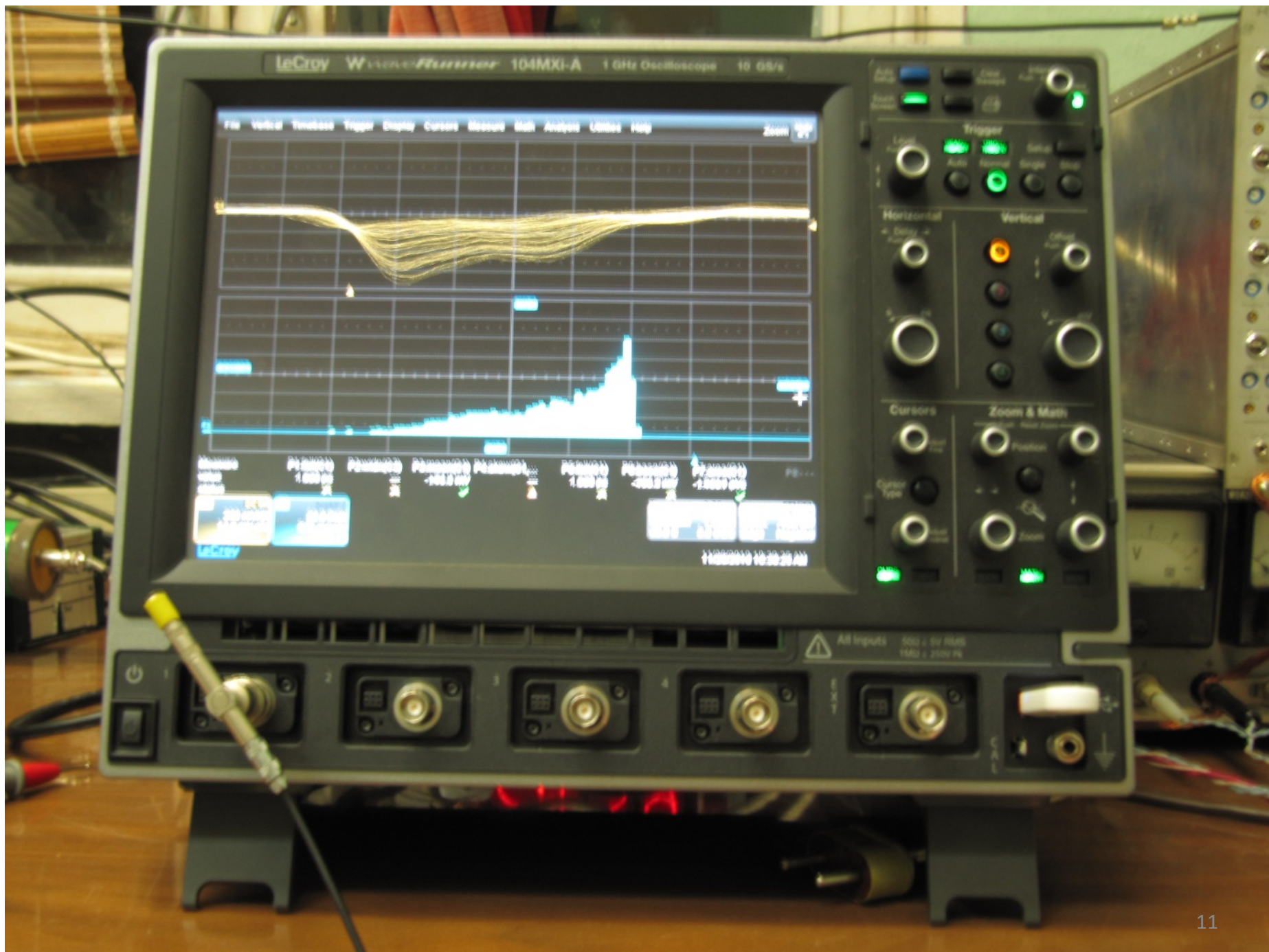
Напряжение (HV) подается через пассивный делитель на каждую сторону МКП по периметру.

Сигнал снимается с 16 ламелей печатной платы, расположенной под шевронной сборкой МКП.

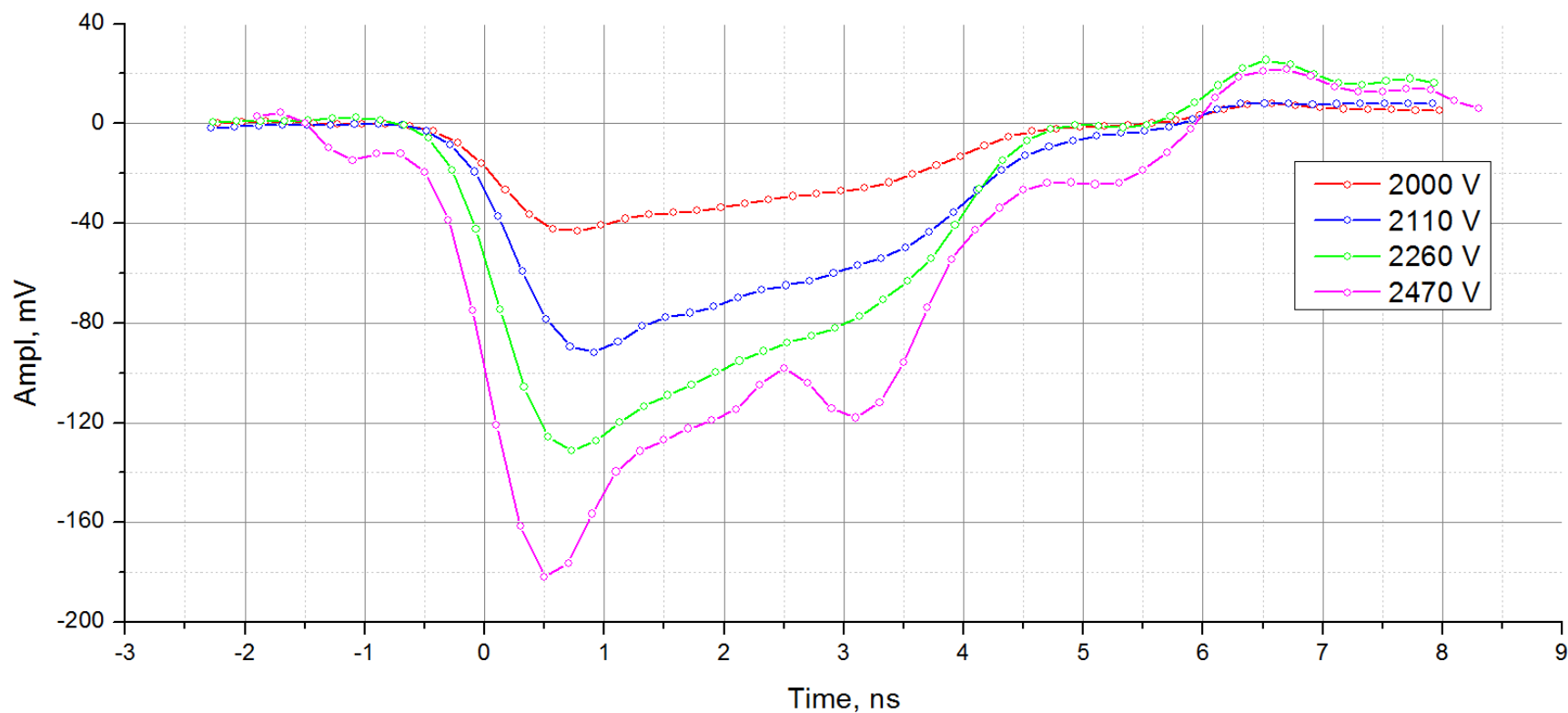
Вакуумный стенд для испытания детектора



При испытании на стенде использовался α -источник с энергией 4 МэВ, расположенный над сборкой МКП на расстоянии ~ 4 см внутри вакуумной камеры.

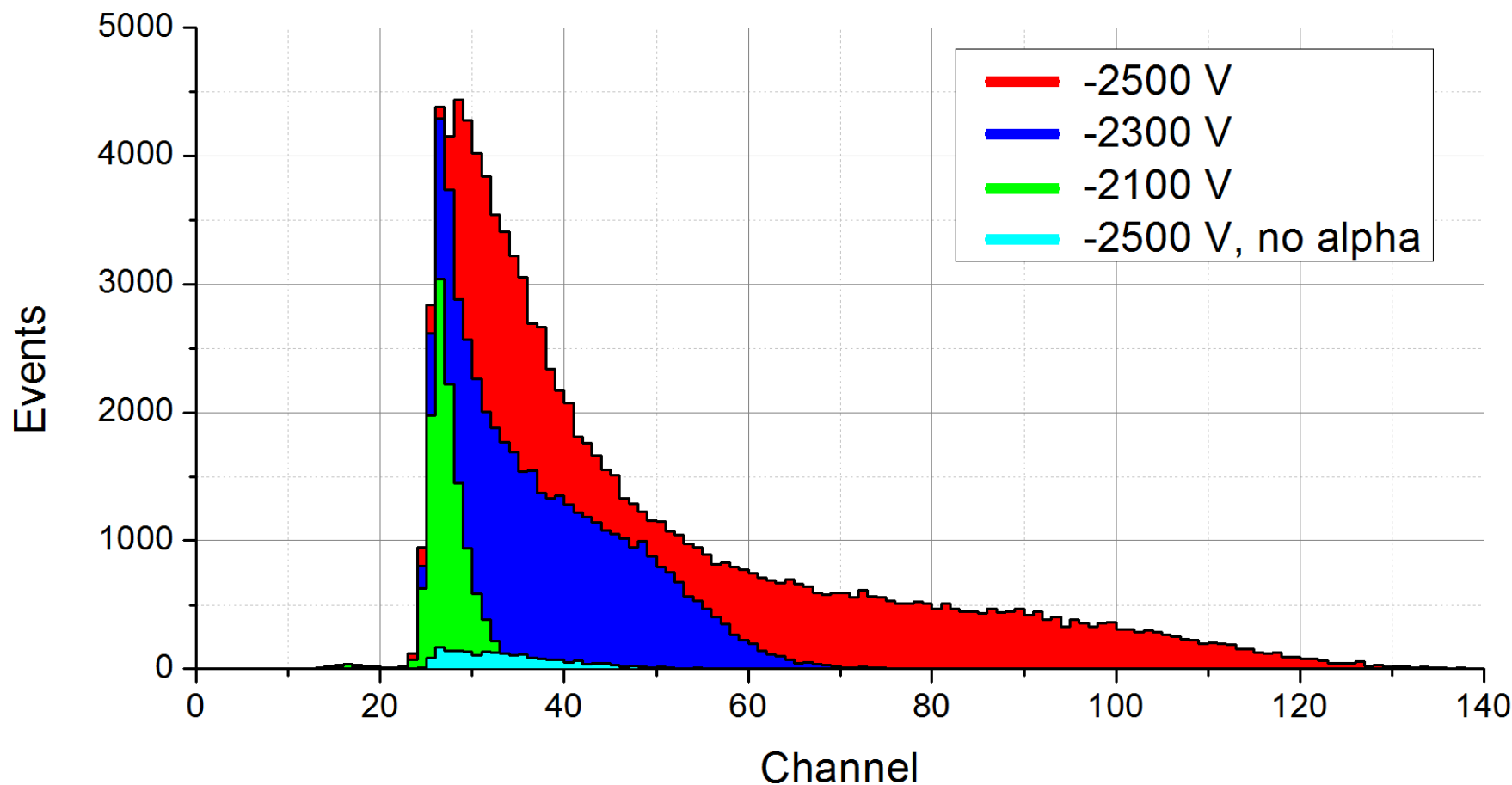


Сигнал с детектора, полученный на стенде (одна из ламелей)

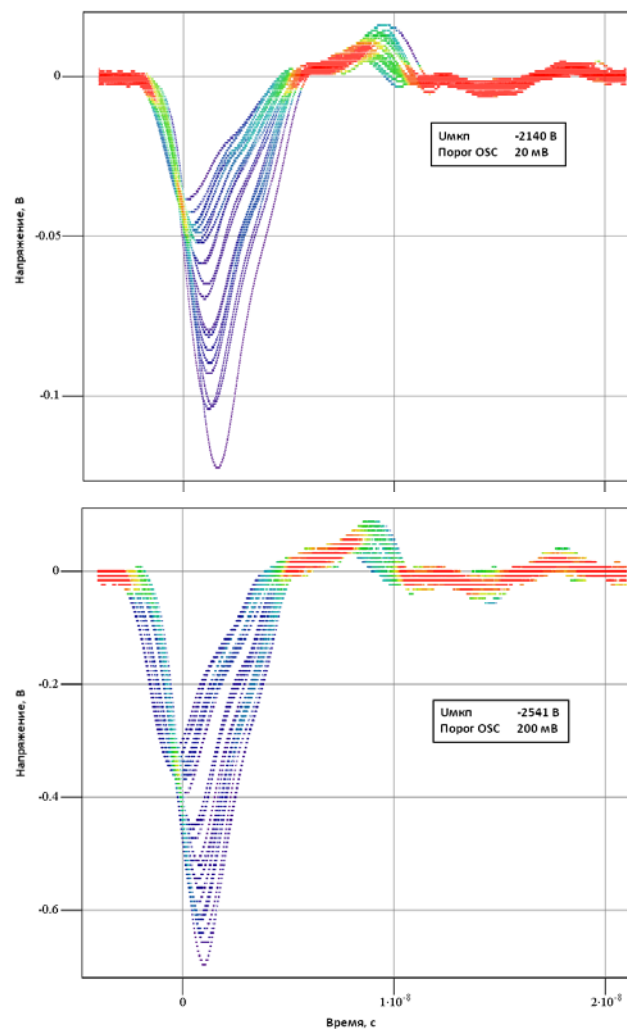
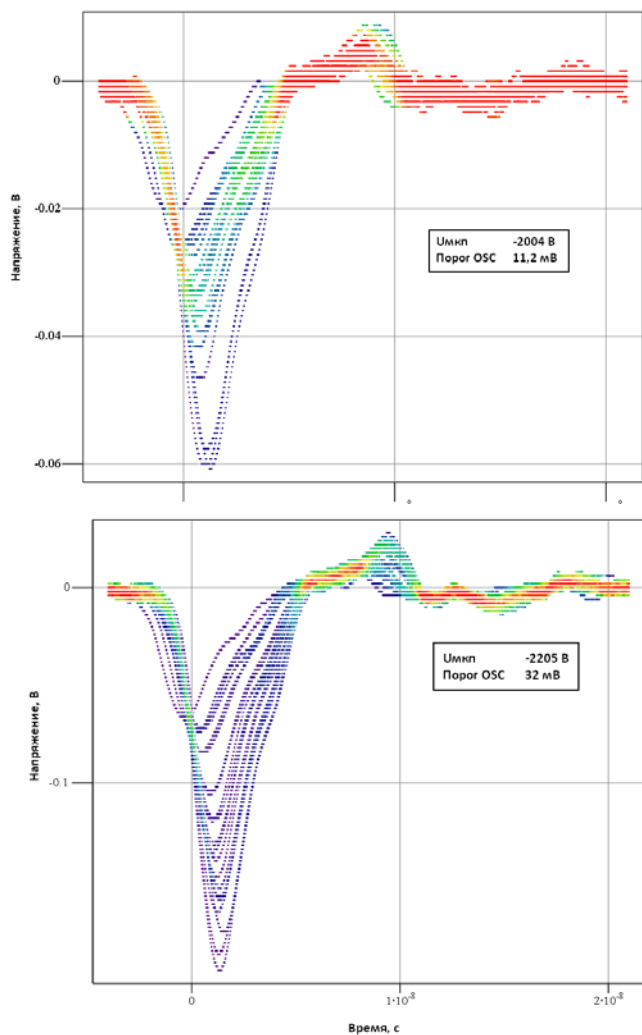


Сигналы с детектора при различных напряжениях на МКП.

Амплитудные спектры детектора от α -источника при различных значениях напряжения на МКП.



Сигналы МКП, осциллограф TDS2022B

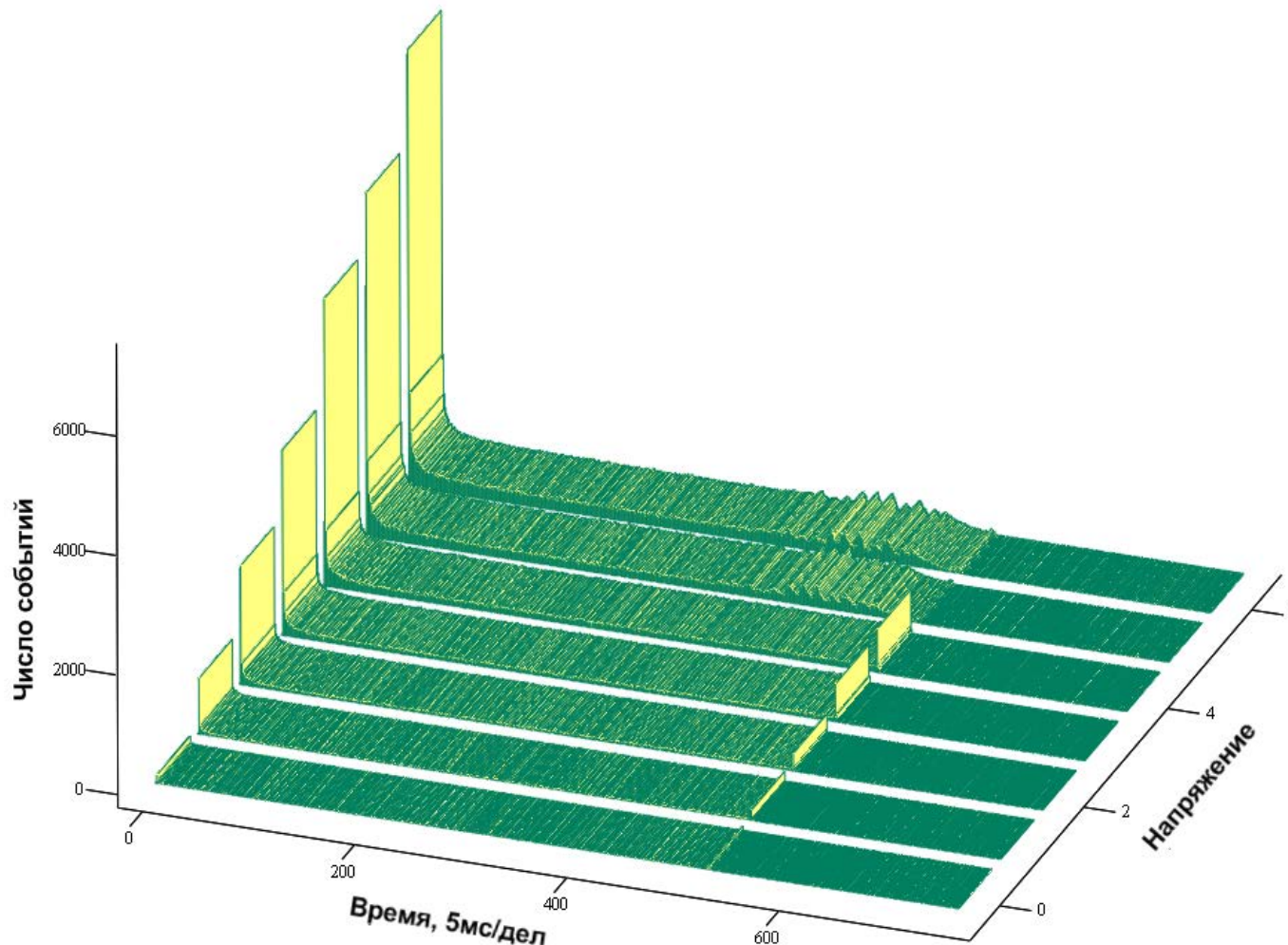


ширина импульса по основанию составляет около 7 нс
длительность переднего фронта – около 1,9 нс

Таким образом

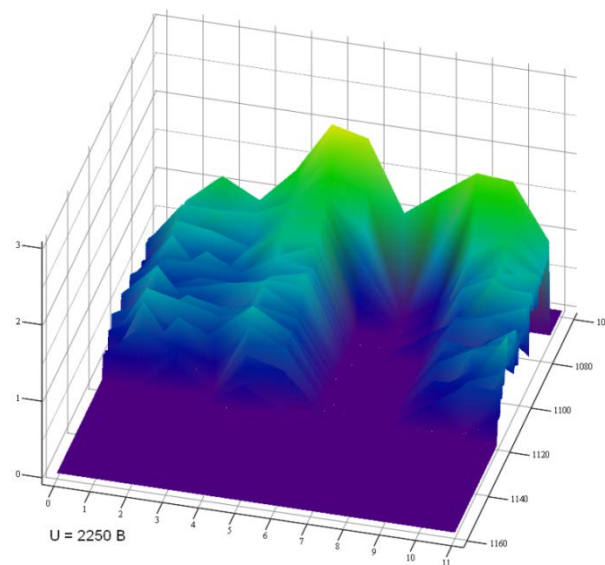
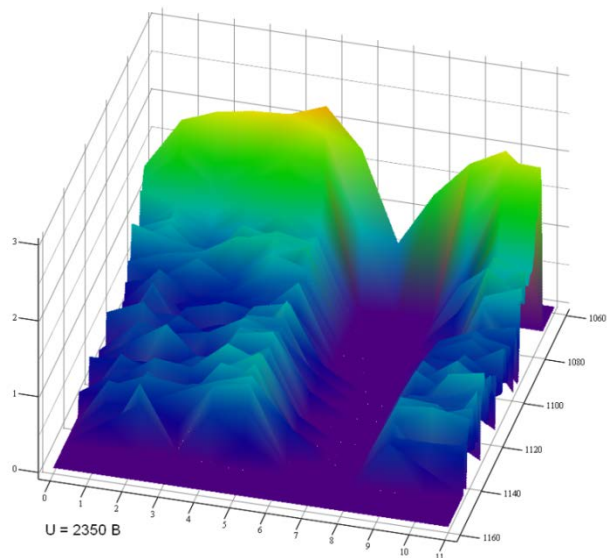
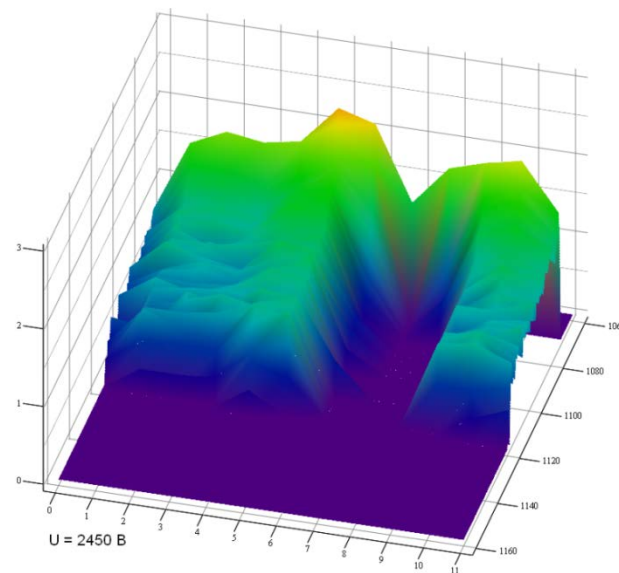
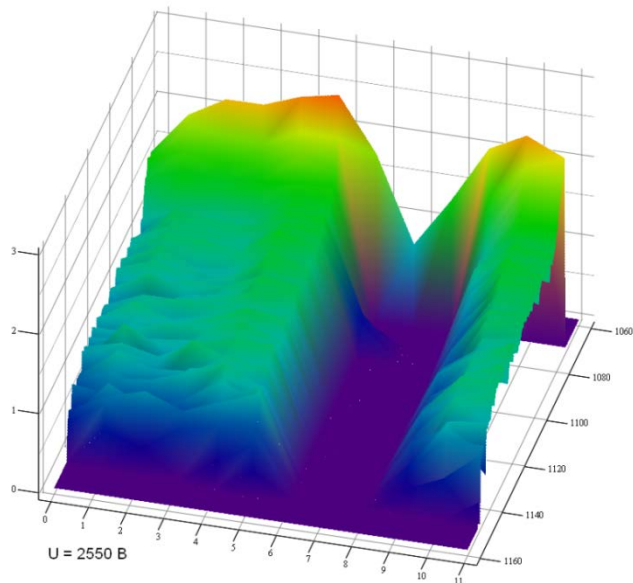
- амплитуда сигнала и крутизна переднего фронта растут при увеличении напряжения пластин. При изменении напряжения от -2004 В до -2541 В эти величины увеличиваются в 10 раз;
- ширина сигнала по основанию и длительность переднего фронта не зависят от напряжения пластин.
- ширина импульса по основанию составляет около 7 нс, а длительность переднего фронта – около 1,9 нс.

**Пример зависимости числа событий от времени циркуляции пучка при
различных значениях напряжения пластин.
(интенсивность пучка низкая)**



напряжение изменяется от -2000 В до -2300 В с шагом 50 В.

Графики зависимости числа событий (дес. лог.) от координаты и времени циркулирующего пучка для разных напряжений питания пластин



для всех вариантов напряжений питания МКП наблюдается **перегрузка**

Модернизация детектора

В детекторе используются новые микроканальные пластины компании «Баспик». Размер пластины 96×33 мм с диаметром каналов 15 мкм.

В качестве коллектора электронных лавин используются 32 контактные площадки с шагом 3 мм.

Для оптимизации режима работы и устранения перегрузок используется **система раздельного высоковольтного питания каждой МКП**.

Для регулирования потока ионов и устранения перегрузок **установлен дополнительный запирающий сетчатый электрод** на расстоянии 8 мм от плоскости детектора и **положительно заряженный ускоряющий электрод**.

Для работы детектора в кольце ускорителя была **разработана специализированная электроника** и программное обеспечение для удаленного контроля, отображения и записи информации .

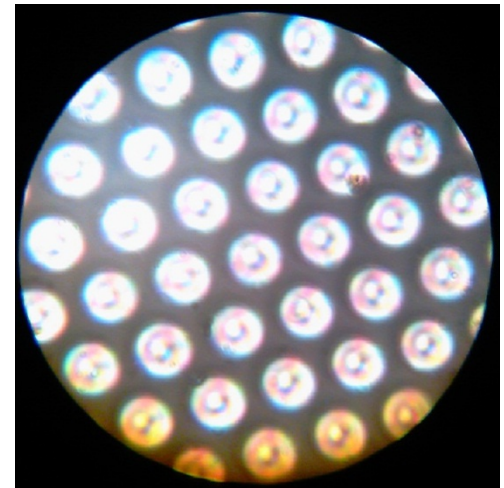
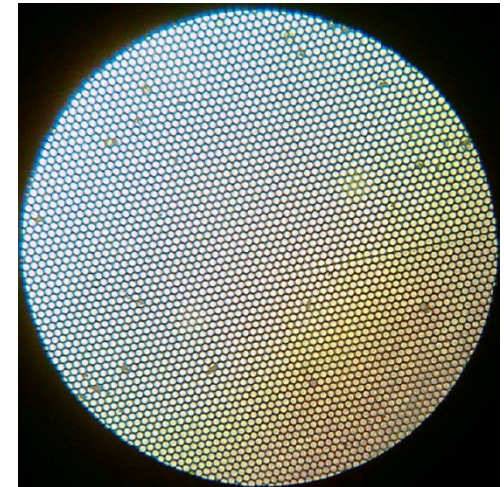
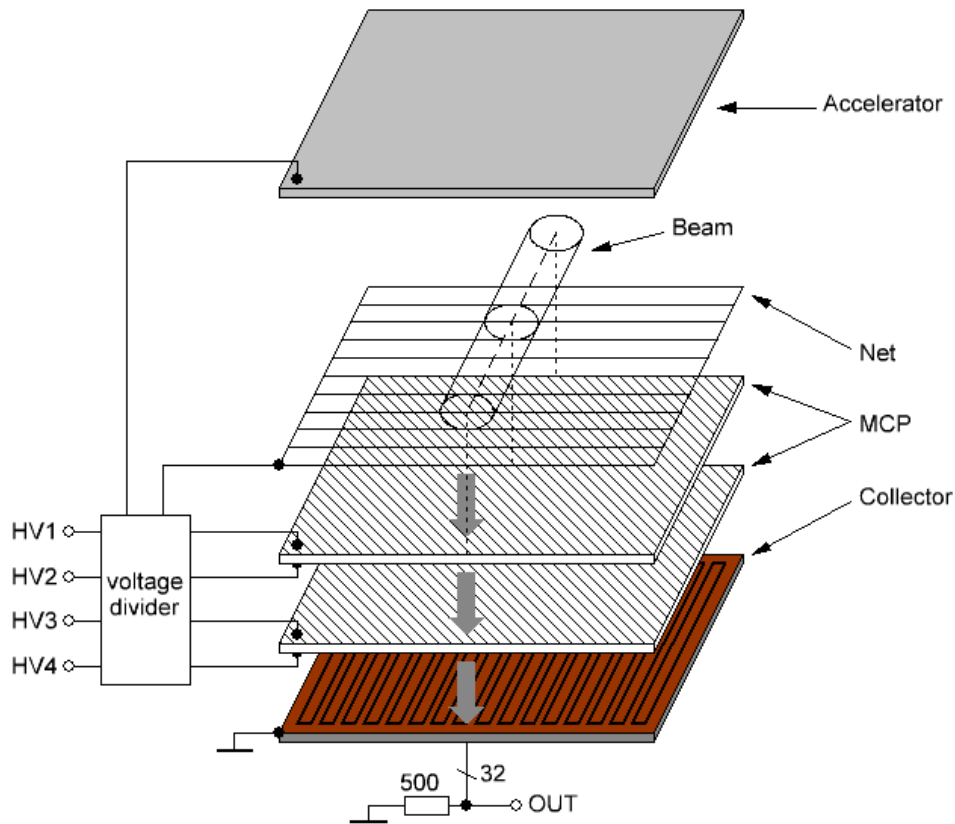
Блок имеет 32 канала, на каждый из которых подается аналоговый сигнал с МКП детектора. Каждый канал имеет дискриминатор с программно-задаваемым порогом.

Блок подсчитывает количество импульсов за отрезок времени и записывает число как 16-ти разрядное слово в память.

Диапазон шага временного интервала устанавливается в диапазоне от 50 нс до 40 мс. Блок последовательно обрабатывает 1024 таких отрезка времени и подсчитывает количество сигналов (превышающих задаваемый порог) в каждом интервале для каждого канала детектора. Таким образом, на выходе получается матрица 32×1024 целых чисел.

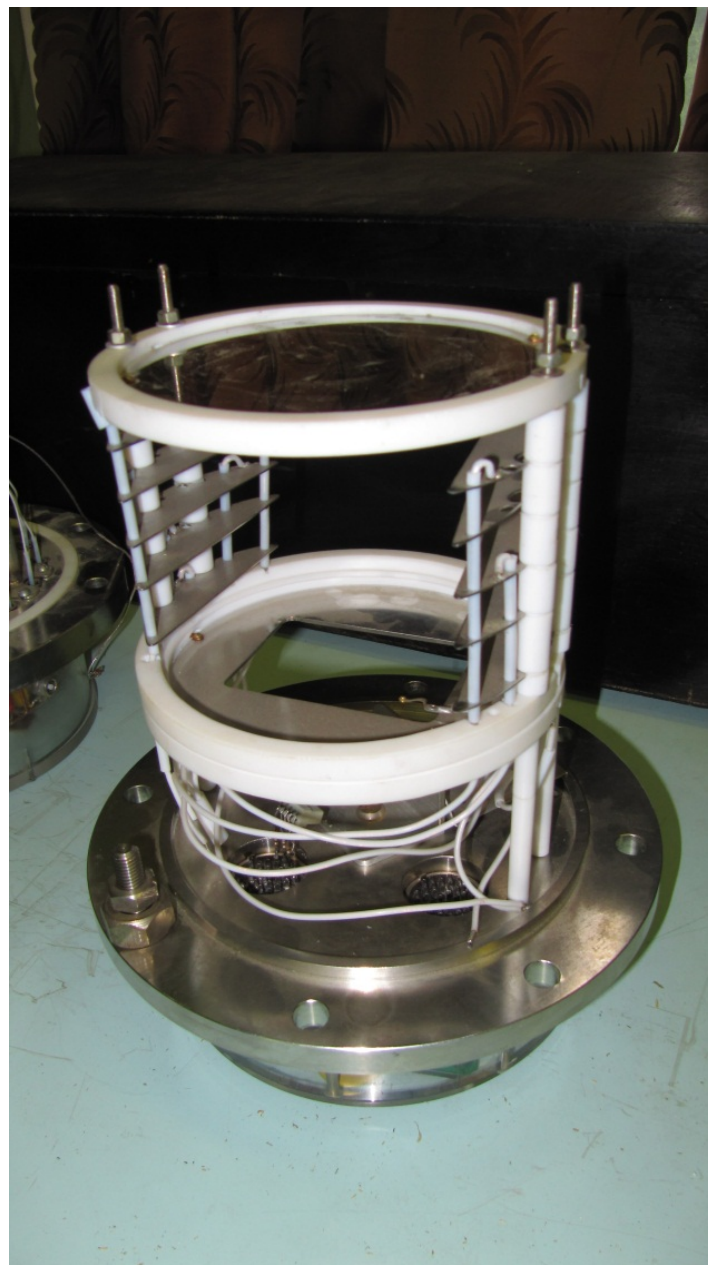
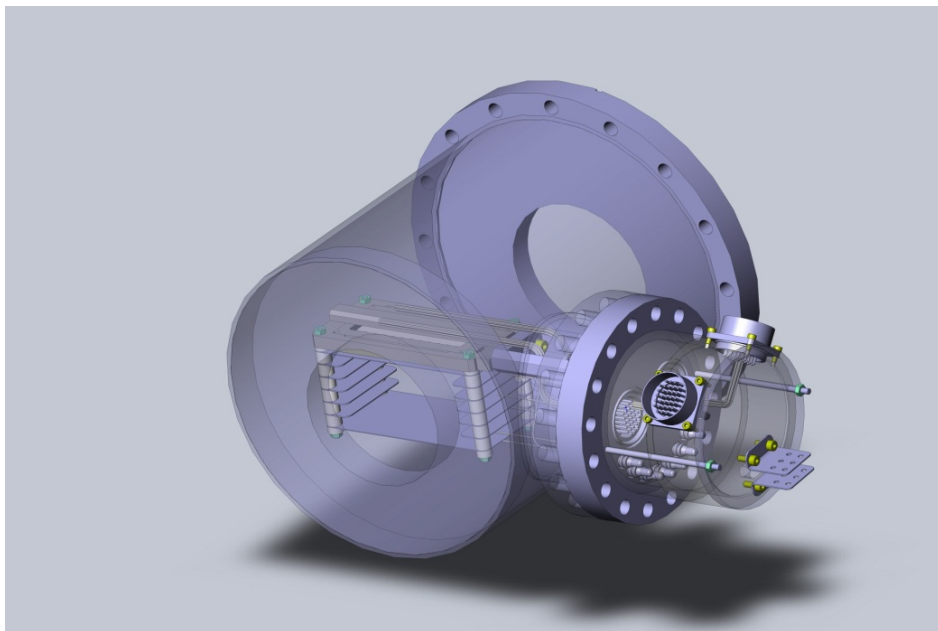
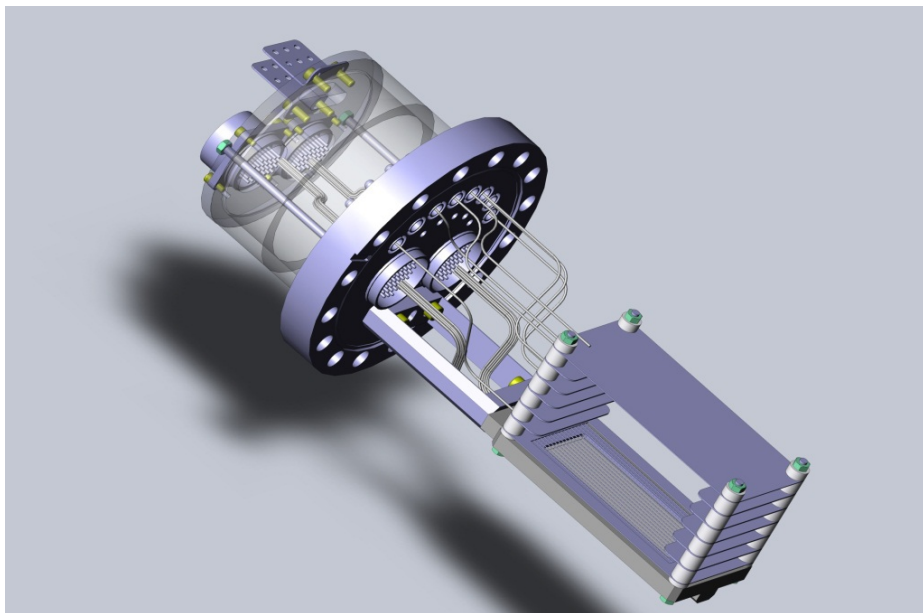
Модернизированная конструкция детектора

МКП - фотография

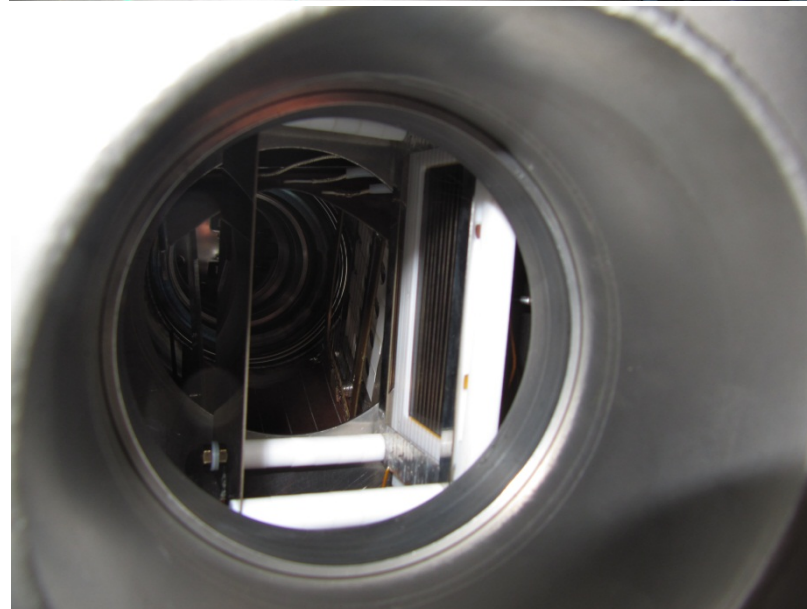
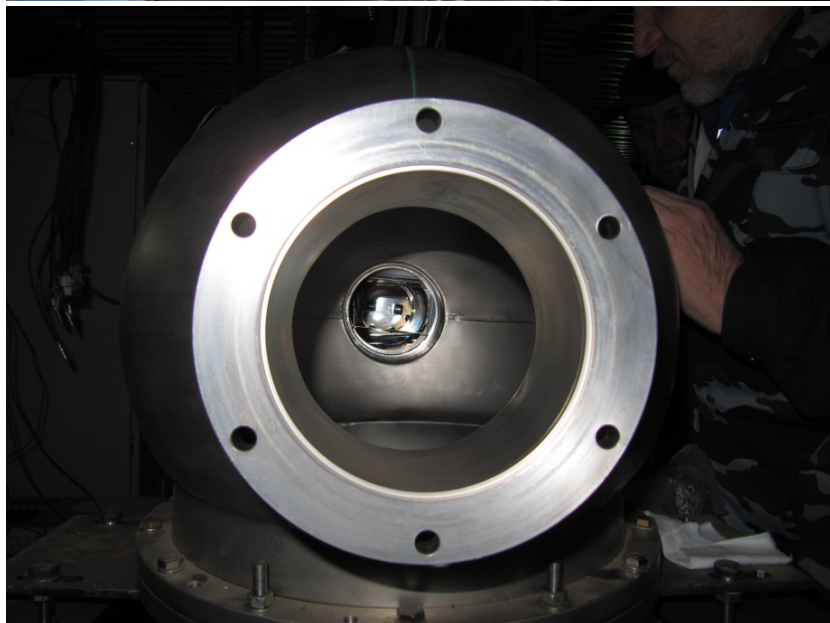
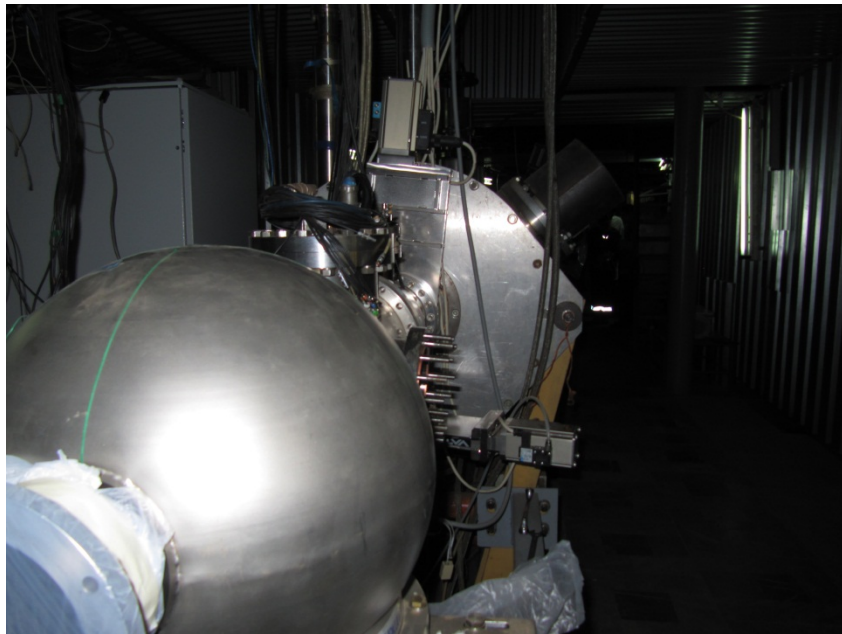


Accelerator – положительно заряженный ускоряющий электрод;
Net – запирающая сетка;
MCP – микроканальная пластина;
Collector – контактные площадки для сбора электронных лавин.

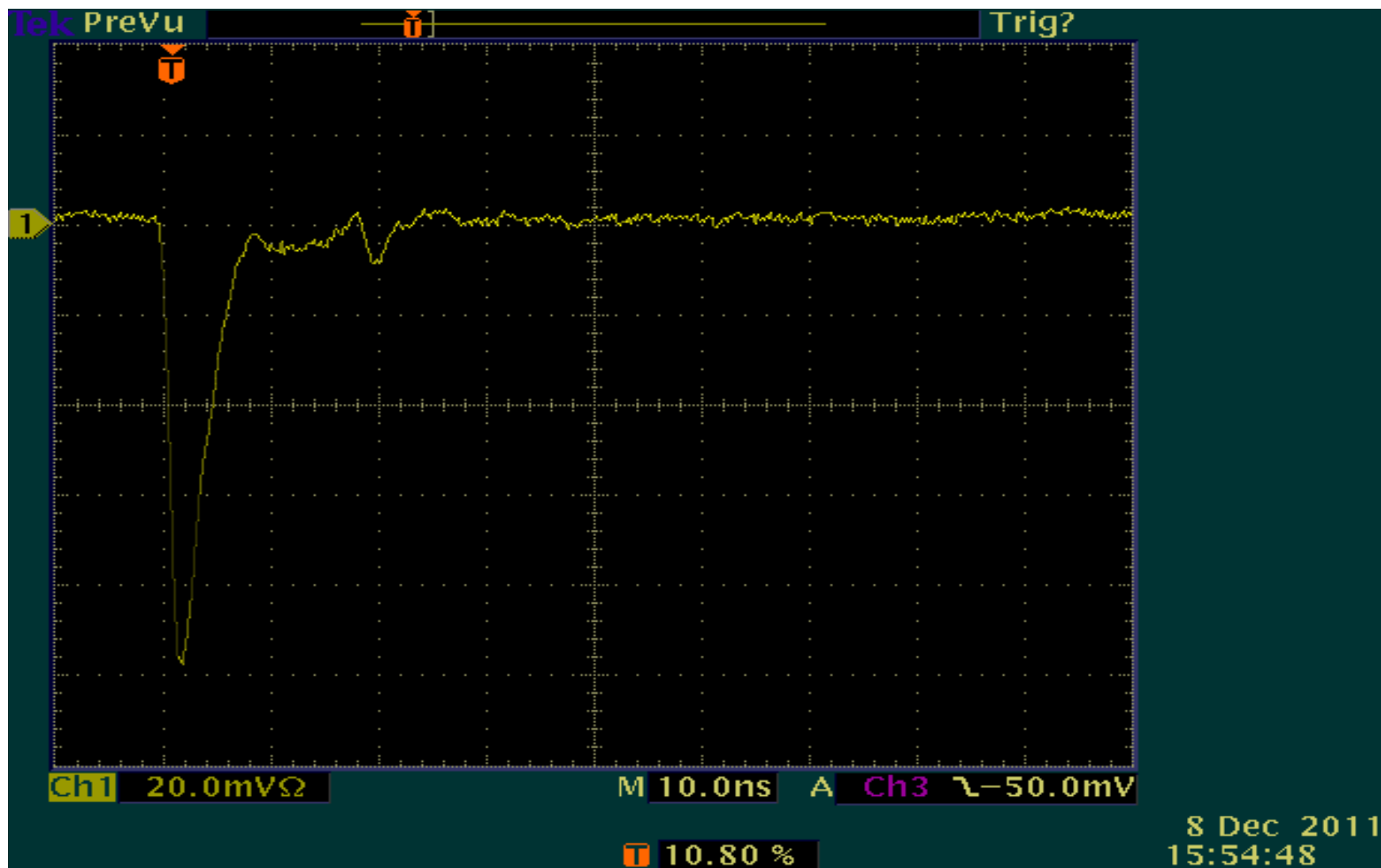
Детектор



Монтаж детектора

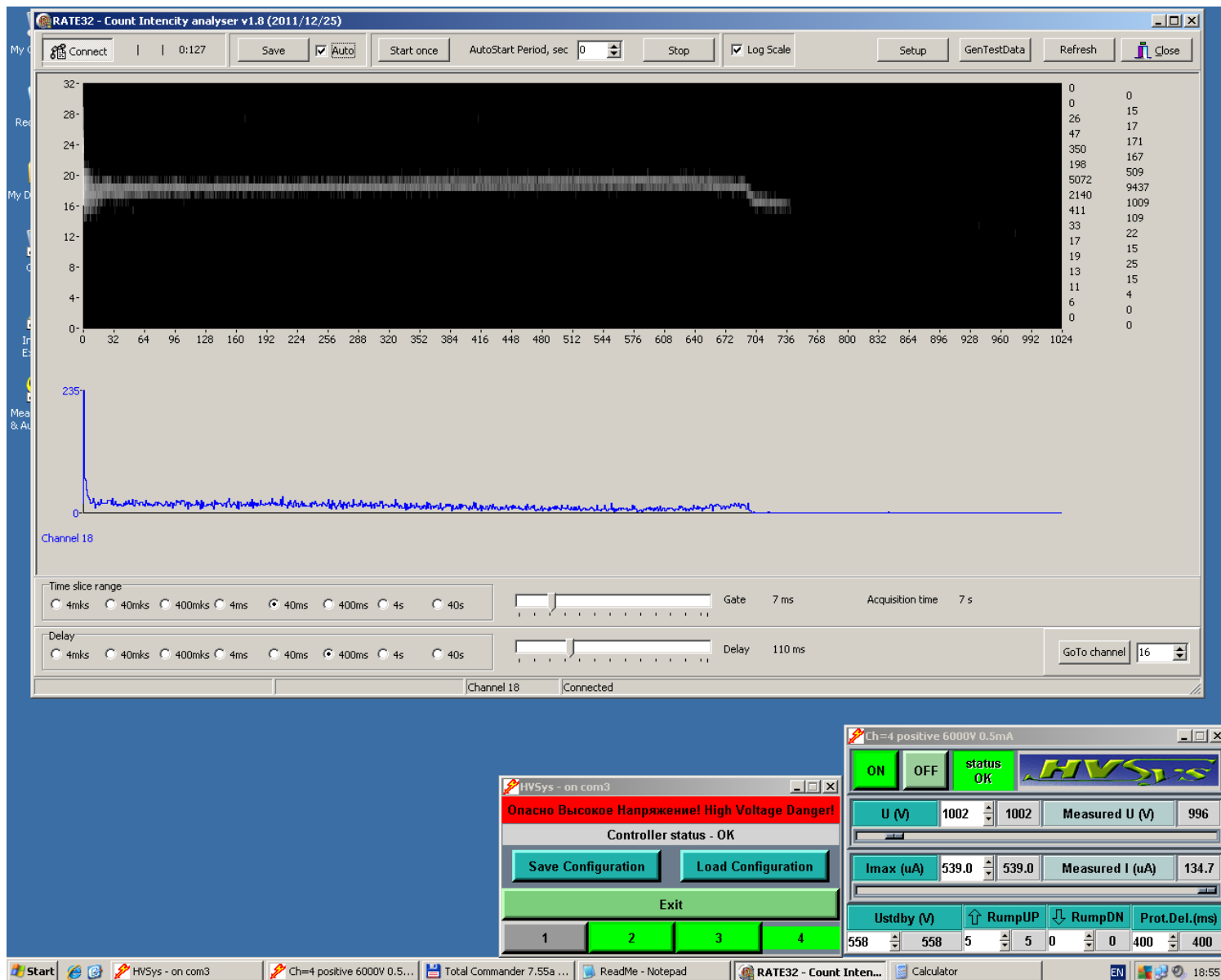


Пример осциллограммы сигнала детектора

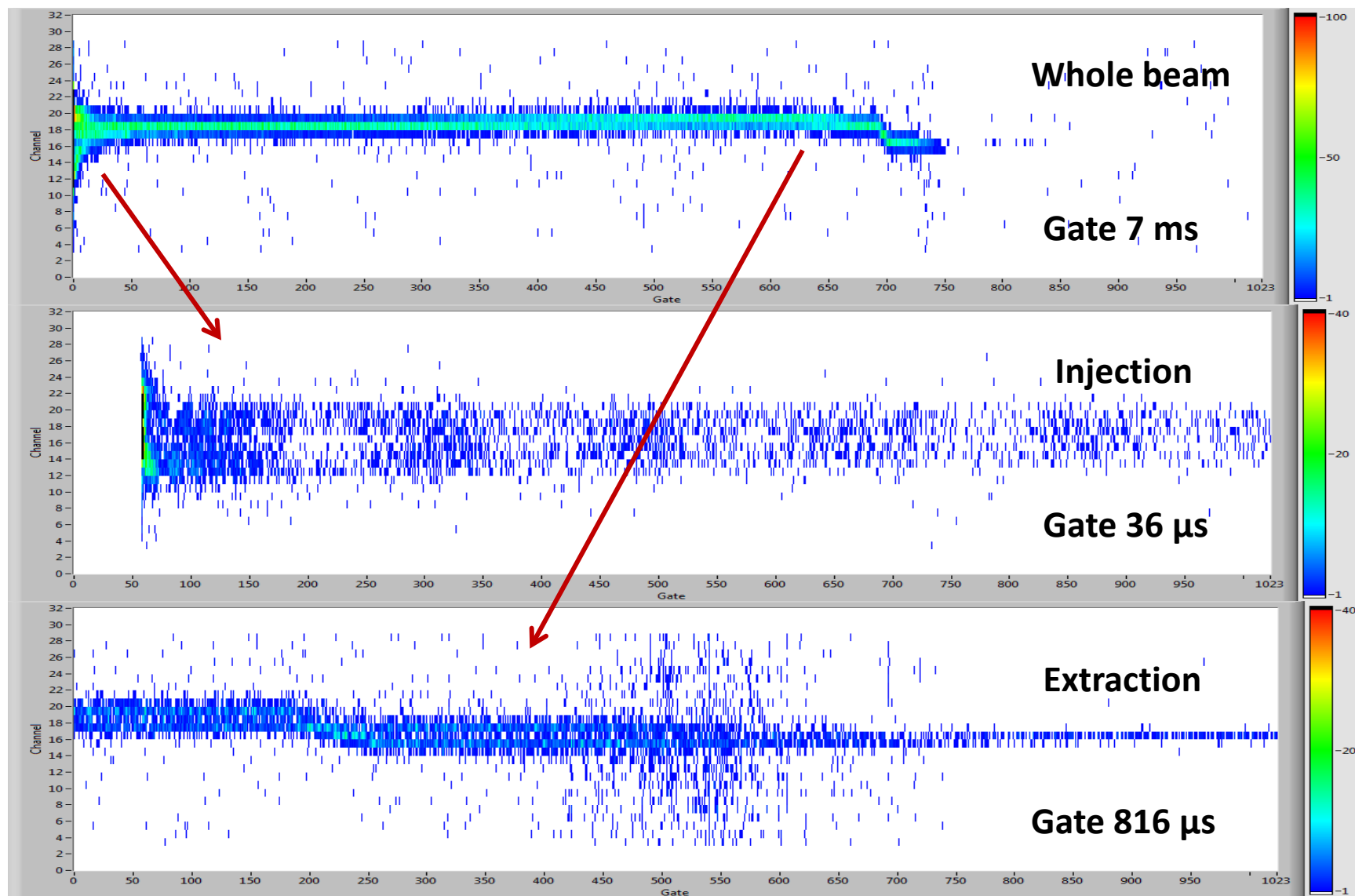


Сигнал с детектора в режиме высоковольтного питания -2400 В × -1200 В × 350 В × 0 В

Интерфейсное окно программы сбора и отображения данных с МКП детектора.

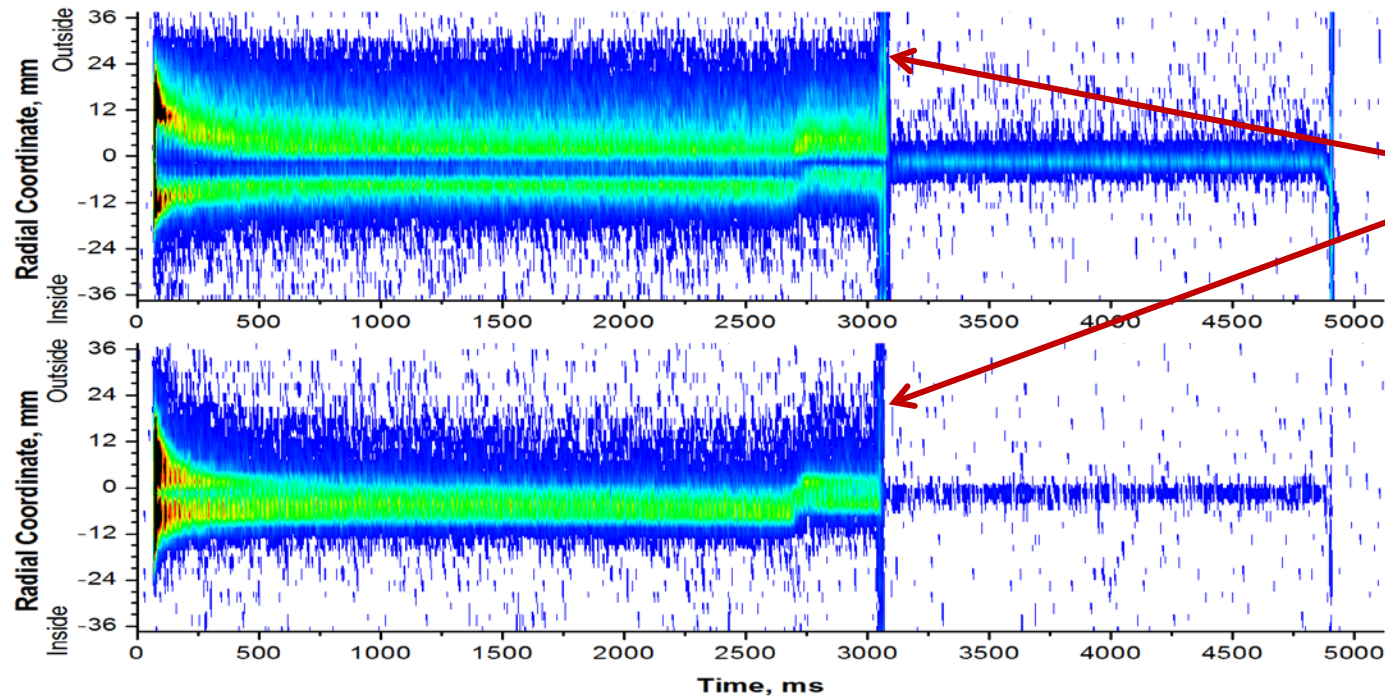


Сопоставление данных циркулирующего пучка совместно с медленным выводом.



Пример регистрации одного цикла ускорения при двух различных напряжениях запирающего электрода детектора.

При циркуляции пучка в камере ускорителя иногда происходят частичные или полные потери пучка. Система мониторинга на основе МКП способна определить момент взаимодействия пучка с камерой ускорителя по характерным линиям «засветки» всех каналов детектора.

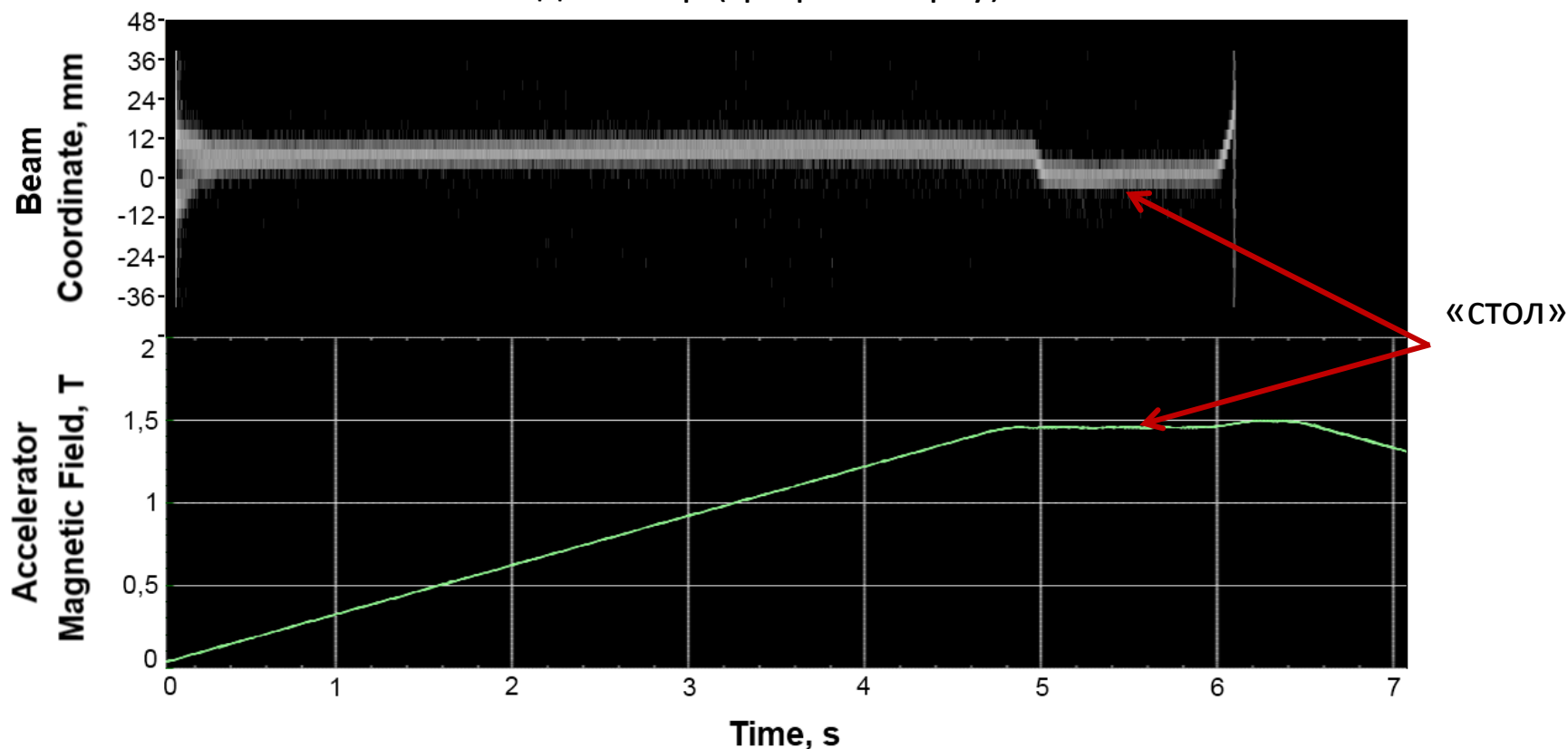


На обоих графиках перед выхода на «стол» заметна вертикальная линия срабатывания всех каналов детектора, это момент взаимодействия пучка с камерой ускорителя, после чего интенсивность пучка скачкообразно снизилась.

На рисунке сверху заметна перегрузка детектора в интервале времени от инъекции до падения интенсивности. После оптимизации напряжения запирающего электрода (сетки) перегрузки детектора устранены (рисунок снизу).

Пространственно-временное распределение и качество проводки пучка

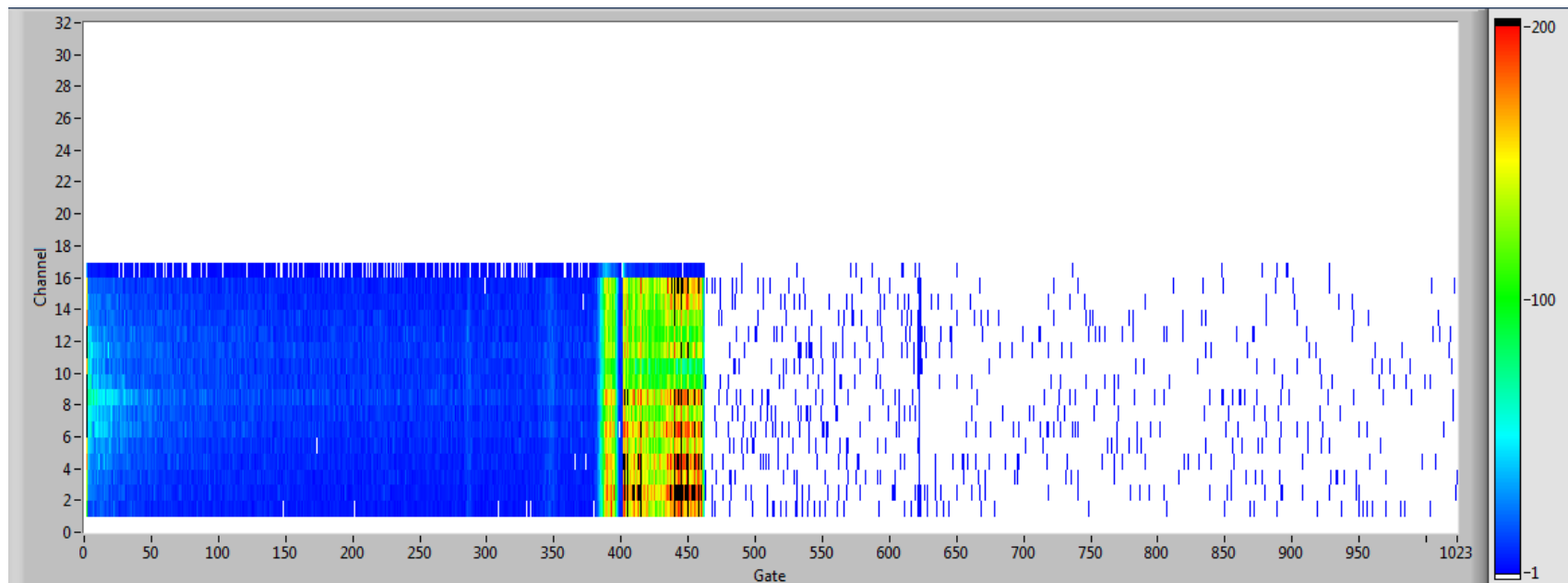
МКП детектор (график сверху)



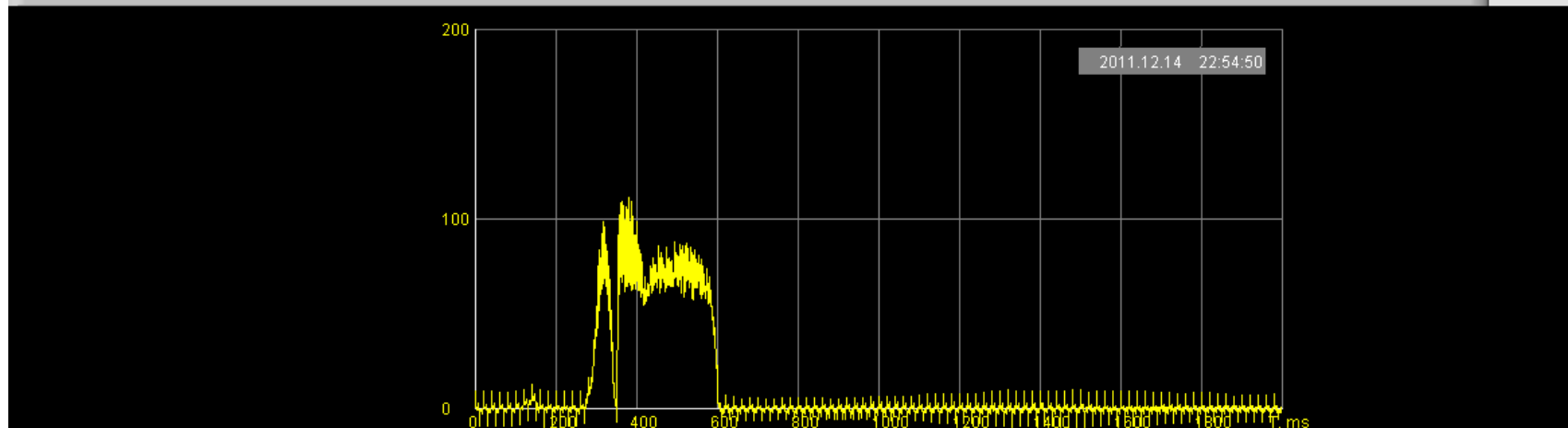
Зависимость величины магнитного поля ускорителя (нижний график).

Видно, что при выходе на «стол» (постоянное магнитное поле) орбита пучка смещается наружу камеры ускорителя, далее пучок сбрасывается на внутреннюю стенку камеры с подъемом поля в конце «стола».

Пространственно-временное распределение и качество проводки и вывода пучка



МКП



«полка»

Пример набора экспериментальных данных ("внутренняя мишень")

ФОН

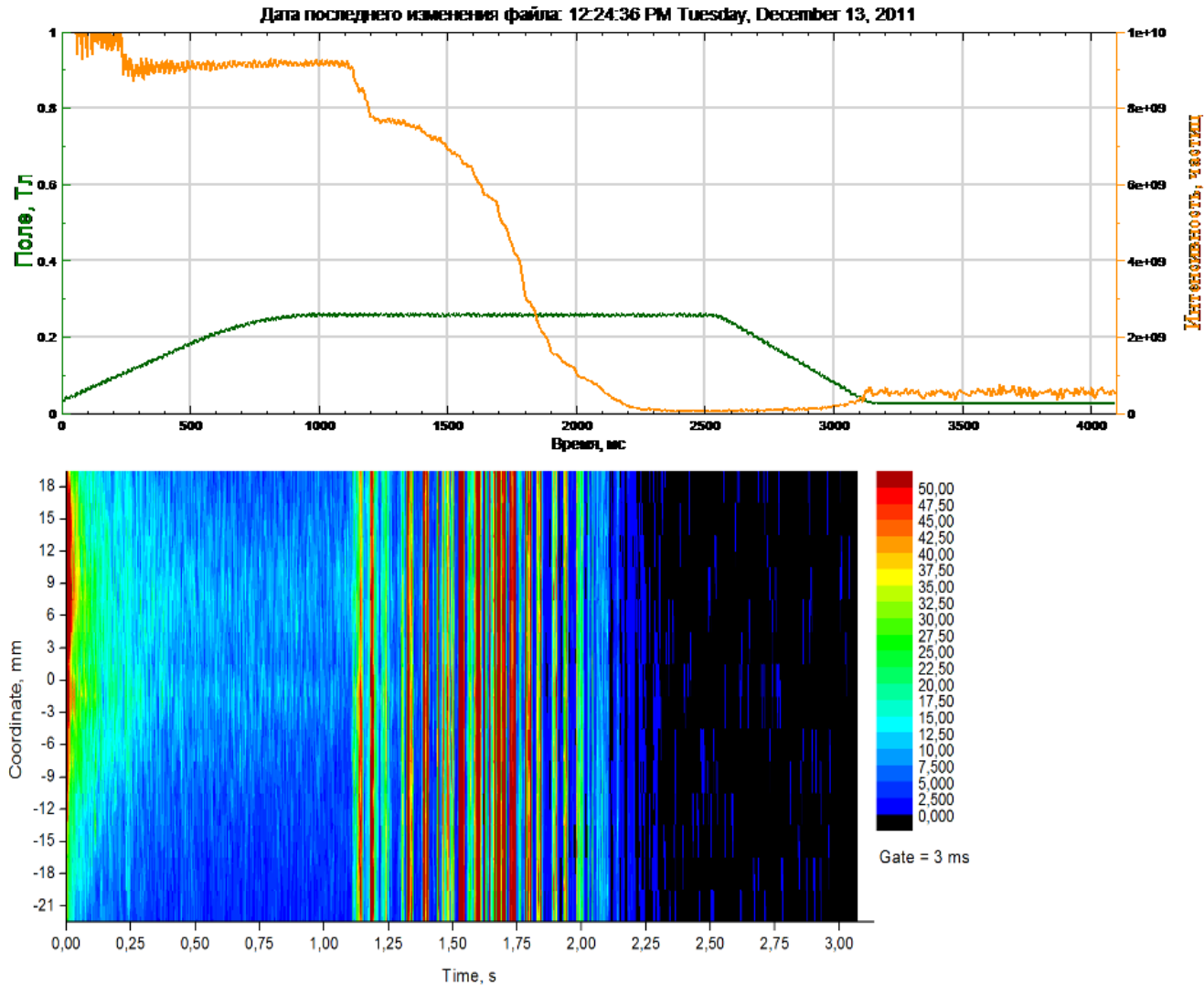
МИШЕНЬ

ПОЛИПРОПИЛЕН

МИШЕНЬ

УГЛЕРОД

Взаимодействие со внутренней мишенью



Сверху – график интенсивности с магнитоиндукционного детектора.

Снизу – графики положения пучка с детектора на основе микроканальных пластин.

ВЫВОДЫ

- Система диагностики циркулирующего пучка Нуклотрона на основе МКП позволяет изучать пространственную и временную структуру пучка в диапазоне интенсивностей от 10^5 до 10^9 однозарядных ионов.
- Созданная и испытанная электростатическая система детектора позволяет подобрать оптимальный режим работы детектора в зависимости от уровня вакуума, интенсивности и типа ускоряемых ядер.
- Конструкция детектора позволяет изменять ширину чувствительных ламелей до 0,5 мм, что определяет пространственное разрешение детектора. В настоящее время чувствительная область детектора 90 мм с пространственным разрешением 3 мм.
- Программное обеспечение, позволяет дистанционно управлять параметрами детектора и представлять цифровую и графическую информацию на пульт ускорителя в виде удобном для оператора.

Первый ФЭУ (~1937 г.)



1st photoelectron multiplier
“Трубка Кубецкого” – “Kubetsky’s tube”

Kubetsky Leonid Aleksandrovitch
1906 -1959

Семинар 17.09.2012

Bayarto Lubsandorzhiev

Спасибо за внимание

ПЛАСТИНА МИКРОКАНАЛЬНАЯ МКП 70×90

Предназначена для усиления потоков заряженных частиц в составе фотоэлектронных приборов, автоионных микроскопах, рентгеновских вакуумных приборах различного назначения и других устройствах широкого применения.

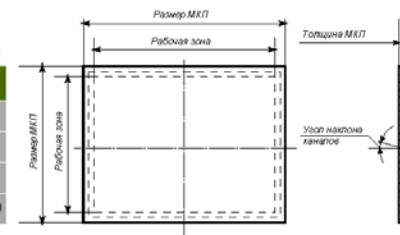
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

ПАРАМЕТРЫ	РАЗМЕРНОСТЬ	ЗНАЧЕНИЕ
Размеры пластины	мм	90×70
Рабочая зона	мм	86×66
Толщина пластины	мм	1
Диаметр канала	мкм	15
Шаг структуры каналов	мкм	18
Угол наклона каналов	градус	8



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

ПАРАМЕТРЫ	РАЗМЕРНОСТЬ	ЗНАЧЕНИЕ
Электронное усиление при 1200В	-	10^4
Сопротивление МКП	$\times 10^5$ Ом	0,2-10
Плотность темнового тока	$\times 10^{-13}$ А/см ²	5
Прозрачность	%	не менее 59



МКП изготавливают двух типонаименований, с диаметром каналов 15 мкм и 12 мкм.

Минимальная наработка не менее 1000 часов в составе прибора применения.

Отдельные пункты спецификации могут меняться в соответствии с требованиями заказчика.

ГАРАНТИИ ИЗГОТОВИТЕЛЯ

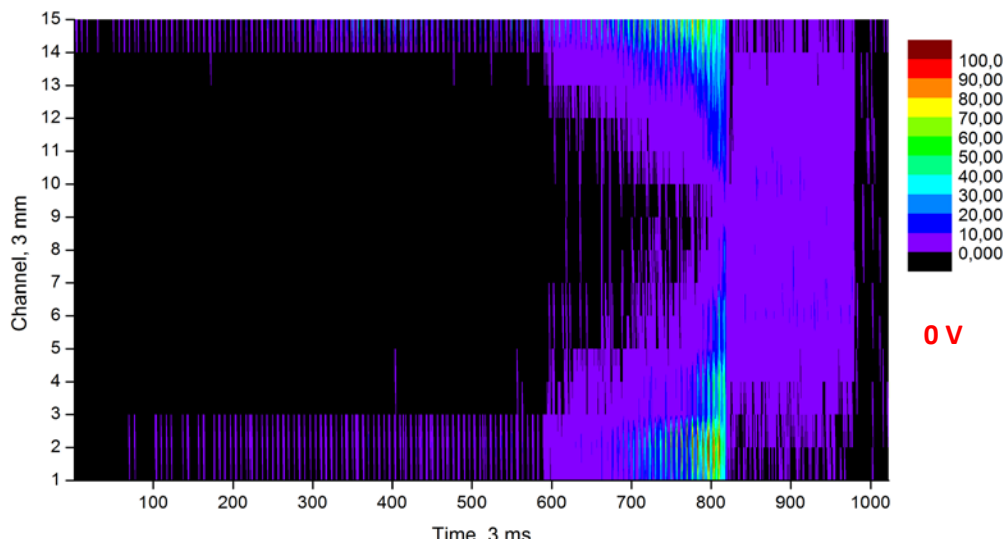
Гарантийный срок хранения – 6 месяцев в упаковке изготовителя, 4 года в вакууме при давлении остаточных газов не более $1,33 \times 10^{-3}$ Па (1×10^{-5} мм рт.ст.). Гарантийный срок исчисляется с даты приемки МКП службой контроля качества изготовителя, а в случае перепроверки – с даты перепроверки.

графики счета с детектора при различных значениях напряжения отталкивающего электрода «сетки»

Напряжение МКП (-2400 × -1200 вольт);

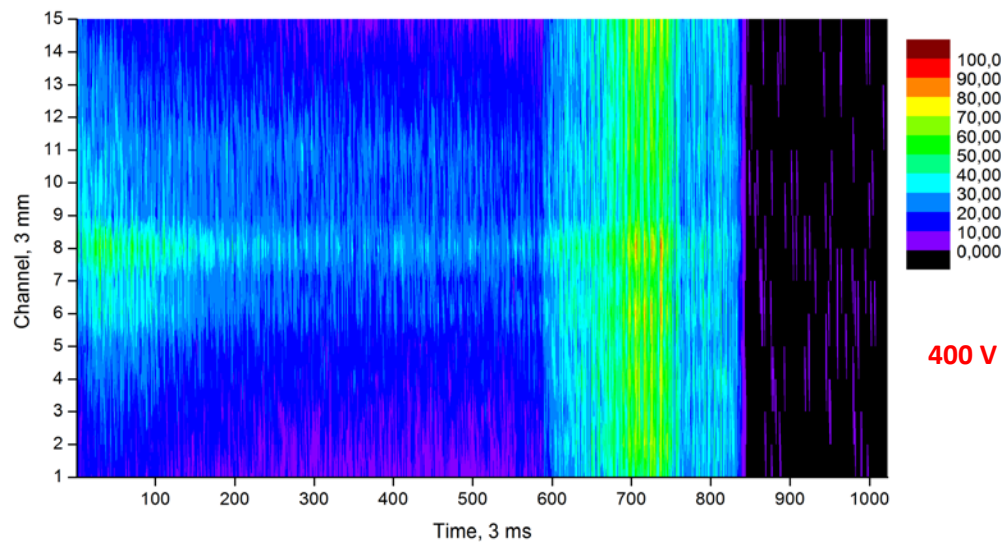
Напряжение на отталкивающем электроде «сетке» обозначено красными буквами на графиках;

Ось времени $3\text{ms} * 1000\text{gate} = 3\text{s}$; Ось радиальной координаты $3\text{mm} * 15 = 45\text{mm}$



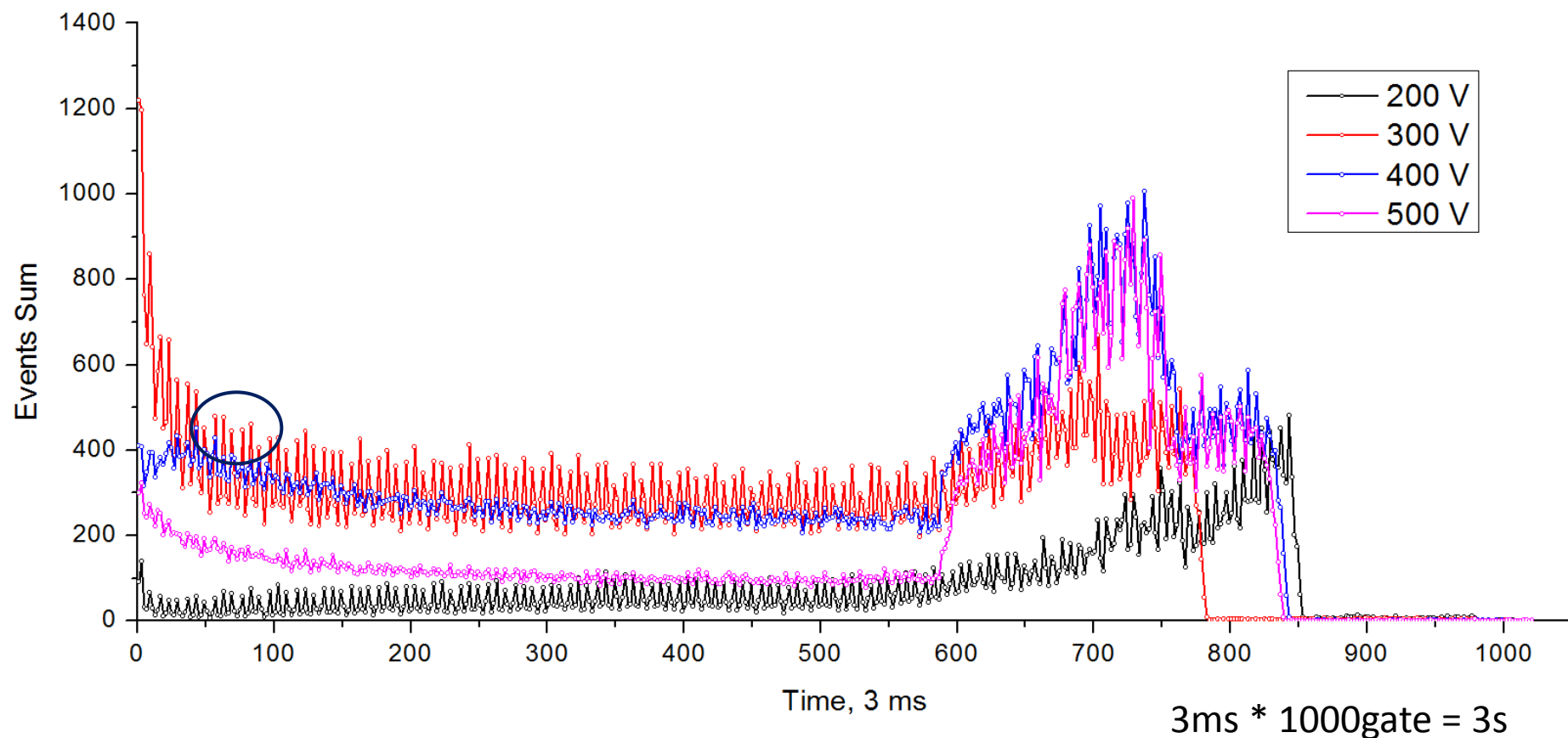
При напряжениях на сетке до 300 В наблюдается перегрузка пластин на отрезке времени от инжекции до медленного вывода, но при этом отсутствуют перегрузки в области остатков пучка после медленного вывода.

При напряжении на сетке 400 В наблюдаются перегрузки только в момент инжекции



При повышении напряжения от 500 В до 700 В влияния сетки на работу детектора почти не наблюдается.

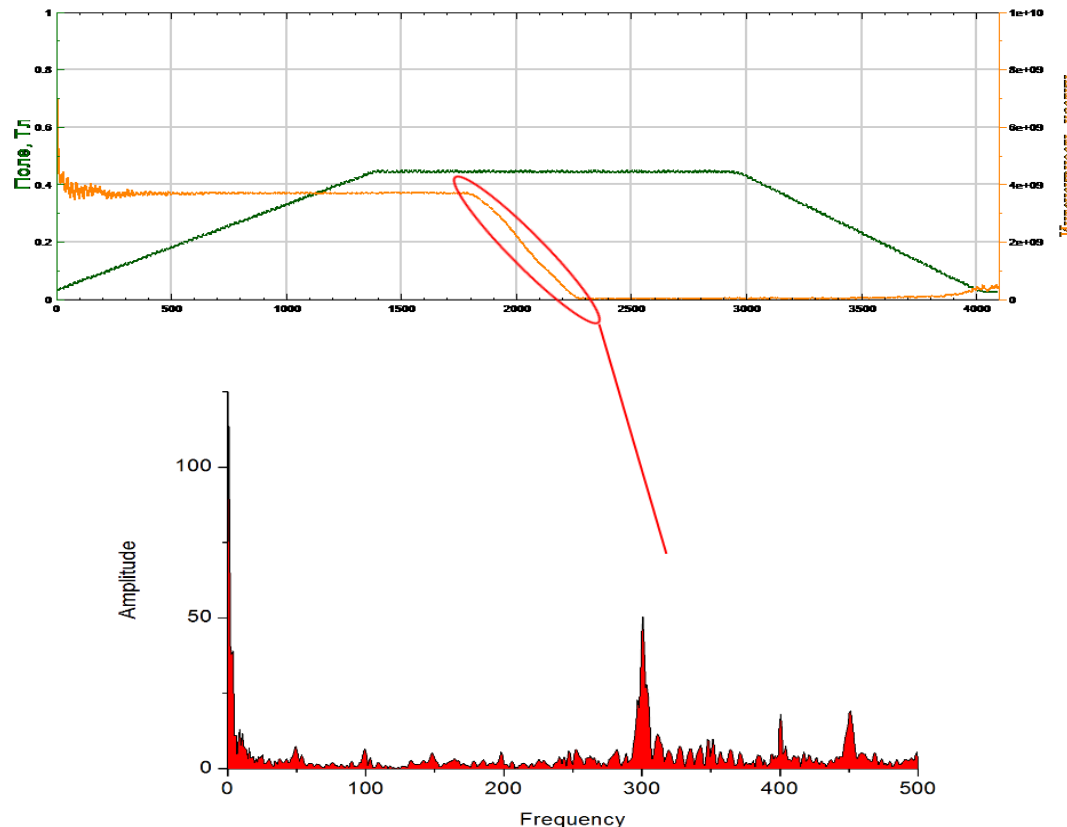
Поканальная сумма событий детектора при напряжении на сетке 200, 300, 400, 500 В



перегрузка пластин при напряжении на сетке 400 В в области инжекции (0 до 150 мс)
(область выделена овалом)

Application for extracted beam

Synchronous analysis of the data for circulating (MCP detector) and extracted beams (ionization chamber) was performed for adjustment of the regime of beam extraction to the target.



Fourier analysis of the time interval of beam extraction.