



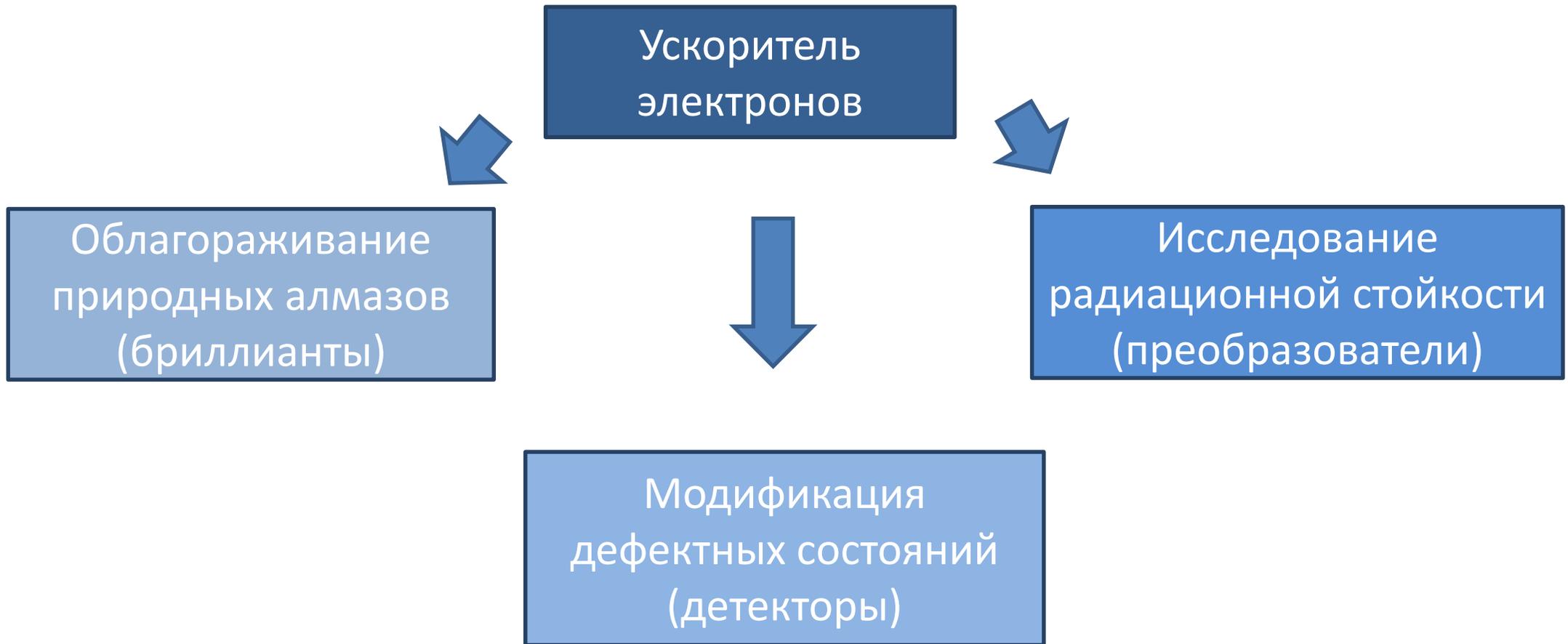
FEDERAL STATE BUDGETARY INSTITUTION
“TECHNOLOGICAL INSTITUTE FOR SUPERHARD
AND NOVEL CARBON MATERIALS”



**Применение ускорителя электронов для
обработки, модификации и исследования
стойкости алмазных структур**

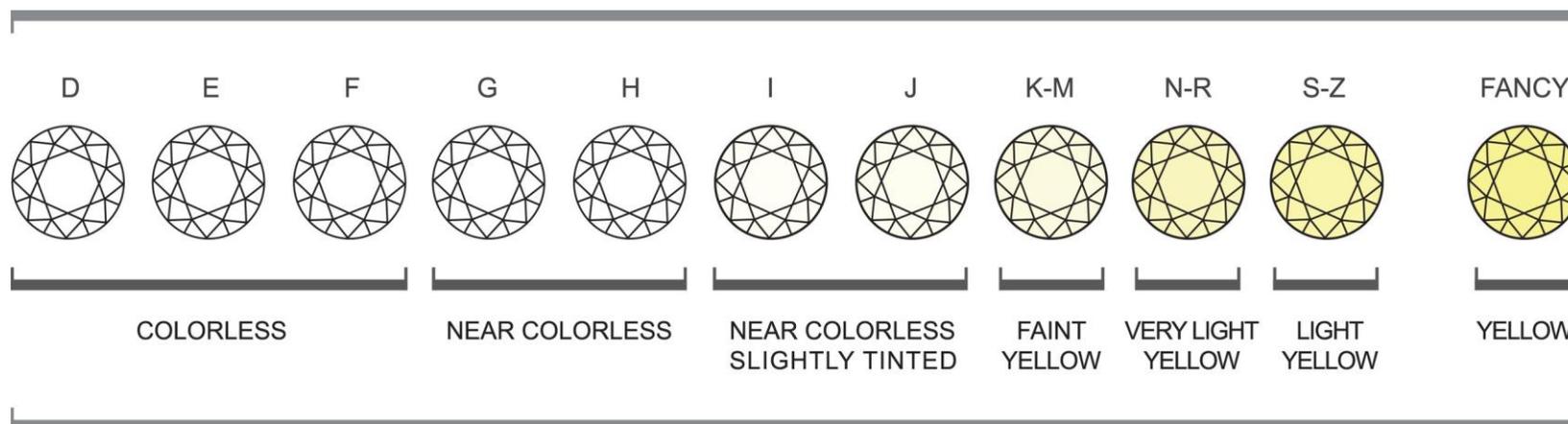
Докладчик: Бормашов Виталий

Основные направления



Облучение природных алмазов

DIAMOND COLOR CHART



- Основные параметры обычных камней – чистота, цвет, вес, огранка
- Отдельный рынок окрашенных камней фантазийного цвета (зеленый, желтый, красный, синий)
- Использование физико-химической обработки для улучшения внешнего вида природных алмазов



Облучение природных алмазов

природный IIa

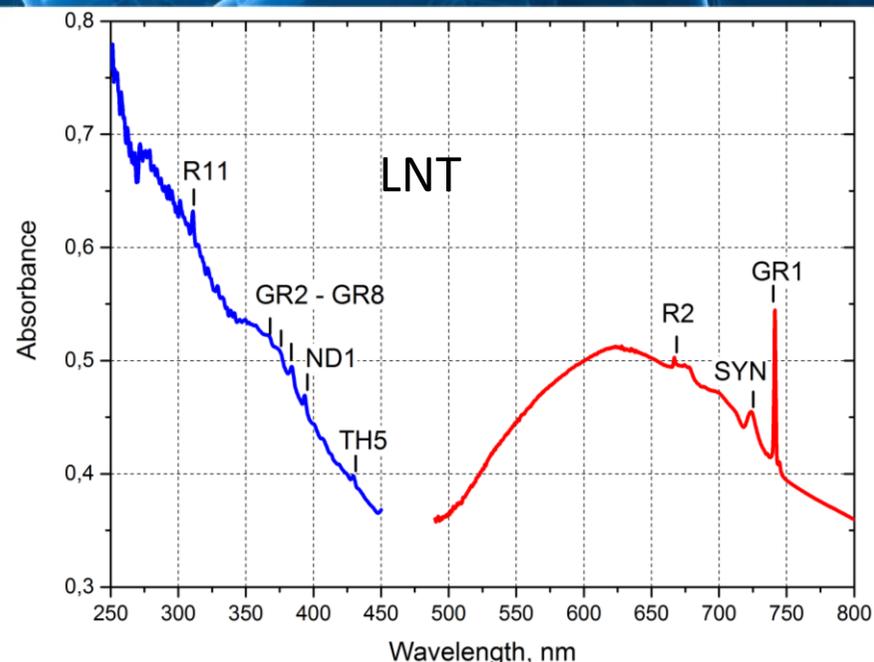


термобарический

отжиг
(НРПТ)



бесцветный



Управляемое изменение спектра поглощения кристаллов

природный Ia



НРПТ

фантазийно-
желтый



облучение

фантазийно-
зеленый



вакуумный
отжиг

фантазийно-
красный



Облучение природных алмазов

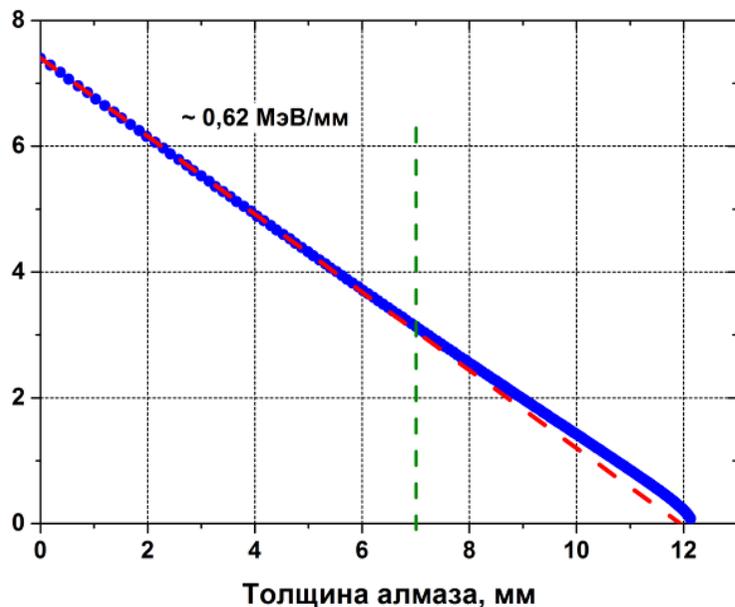
Российский алмазный центр «ALROSA TECHNOLOGIES» (2017 год, Троицк)



Сертификация и
аттестация



Синтез и
обработка

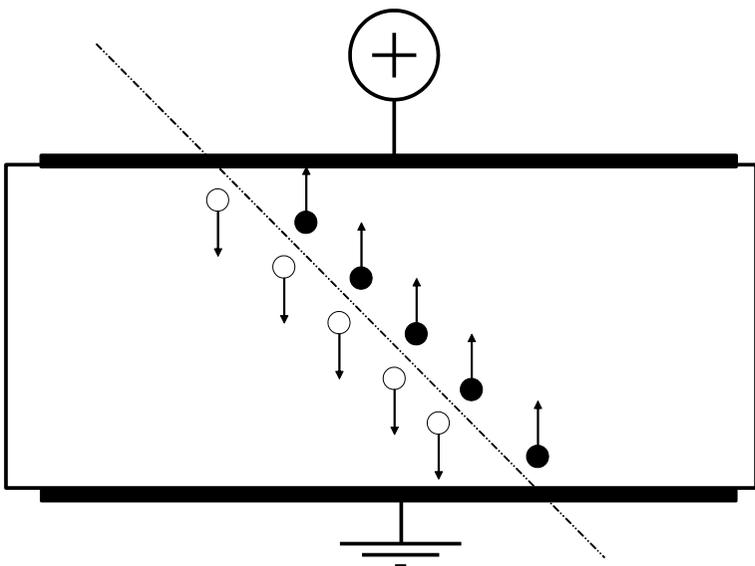
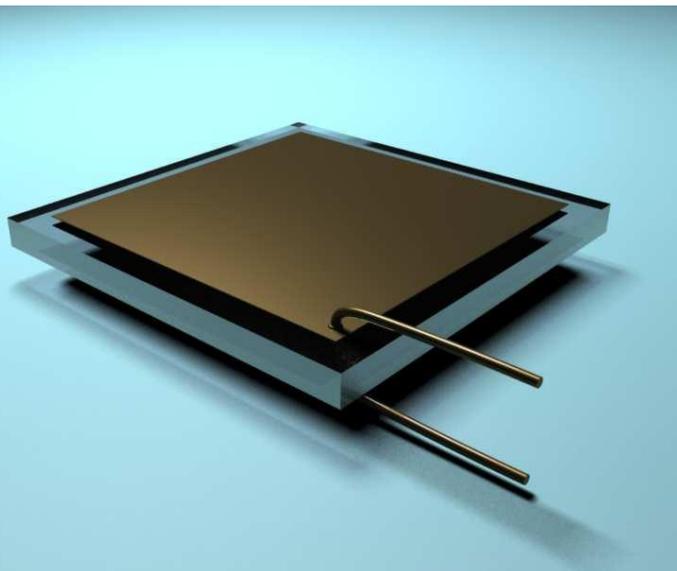


Планируемый объем выпуска
синтетических камней

Материал	2017	2018	2019
CVD	1 000 ct	15 000 ct	25 000 ct
HPHT	5 000 ct	15 000 ct	25 000 ct

Потенциальные применения

- датчики мощности экспозиционной дозы гамма-излучения, предназначенные для использования в составе автоматизированной системы контроля радиационной безопасности АЭС
- спектрометрические детекторы для непрерывного беспроботборного контроля нуклидного состава теплоносителя 1-го контура реактора АЭС
- спектрометрические детекторы потоков ионизирующего излучения, обусловленных галактическими космическими лучами и внутренним радиационным поясом Земли, для транспортных космических систем с длительным сроком эксплуатации
- матричные детекторы поглощенной дозы с высоким пространственным разрешением для адронной (протонной и ионной) радиотерапии в медицине



Детекторы ионизирующих излучений

Искусственные
объемные
монокристаллы
алмаза типа IIa



Внешний вид

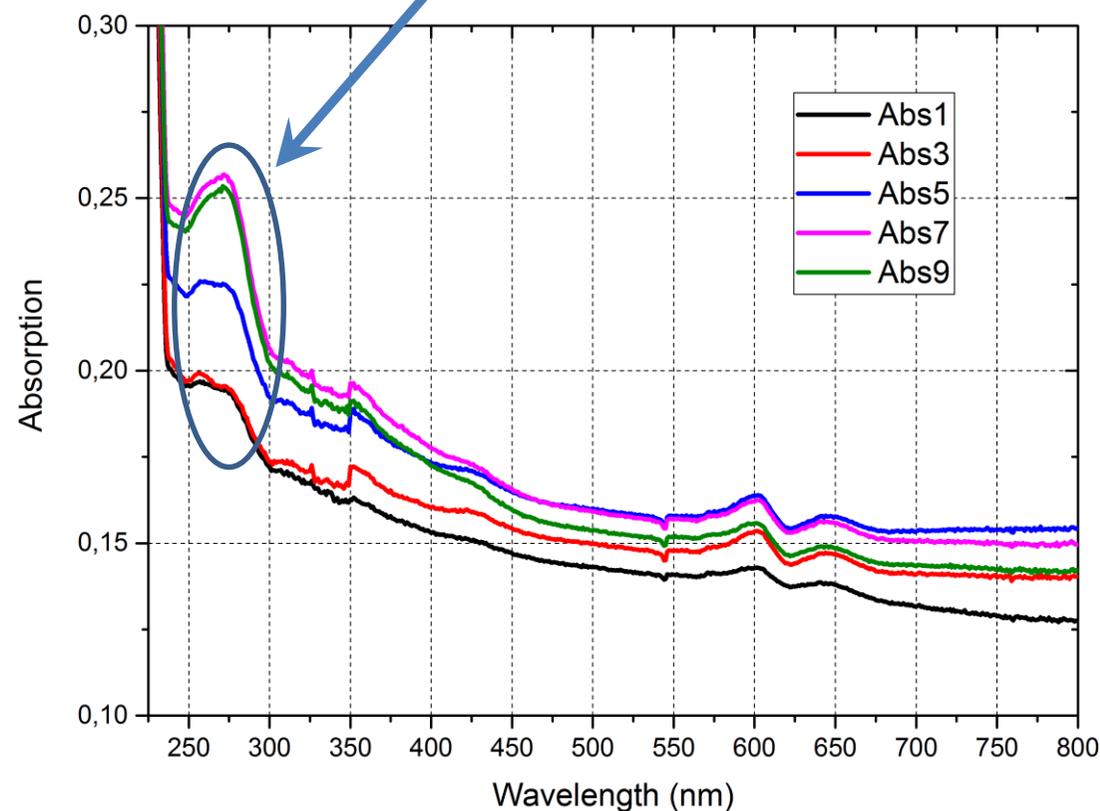


УФ-люминесценция

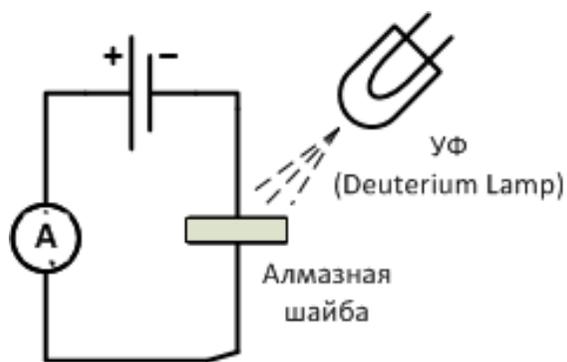
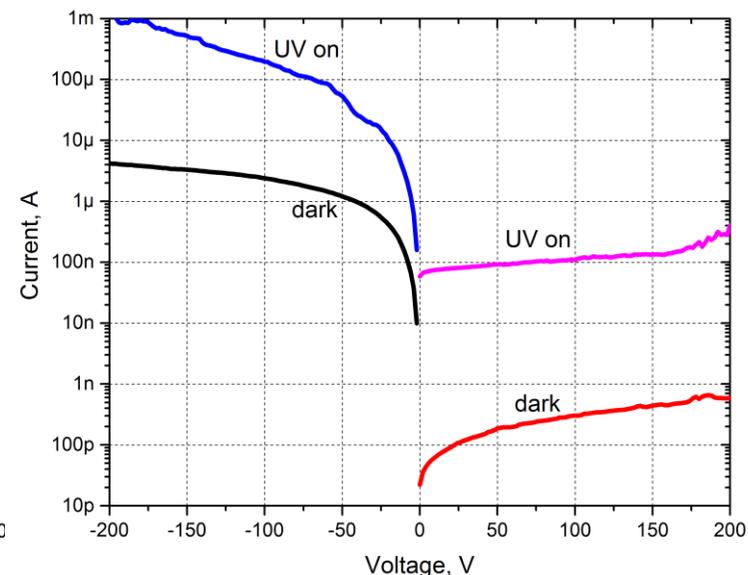
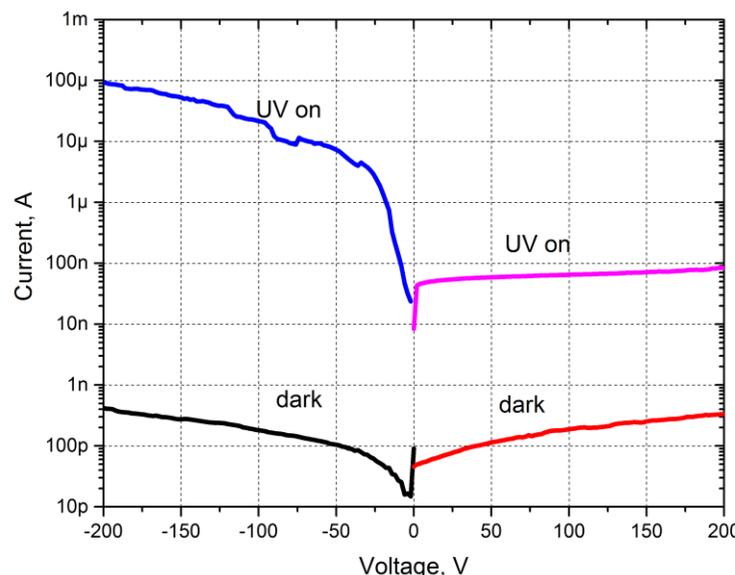
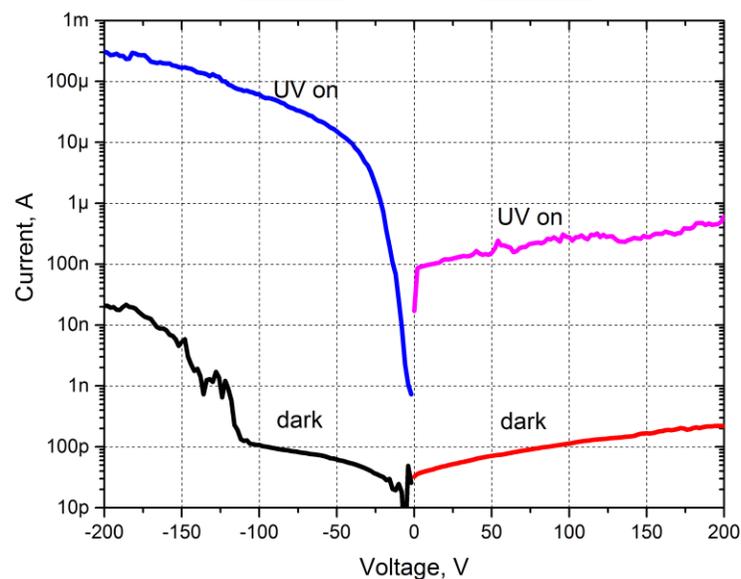
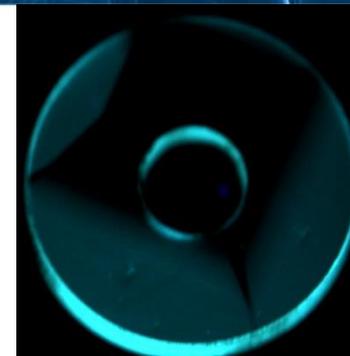
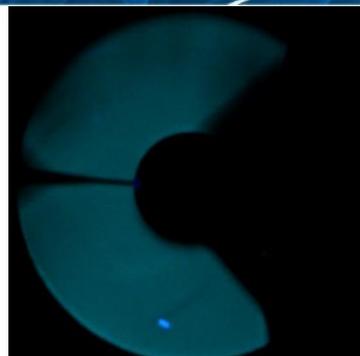
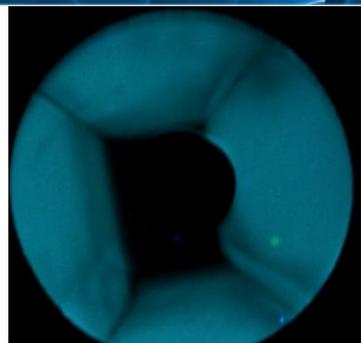


Неоднородное распределение
примесей и дефектов по основным
секторам роста $\{001\}$ и $\{111\}$

Неоднородное и неконтролируемое
распределение остаточной примеси
азота (меньше 1 ppm) по объему
детектора

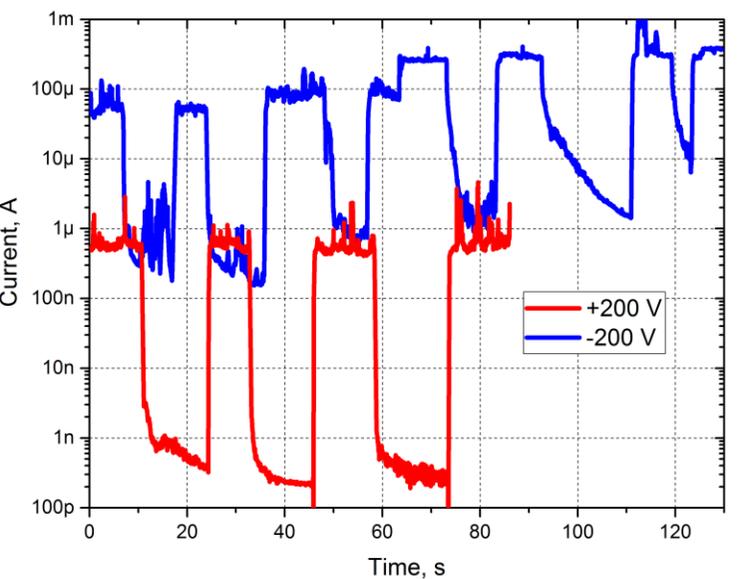
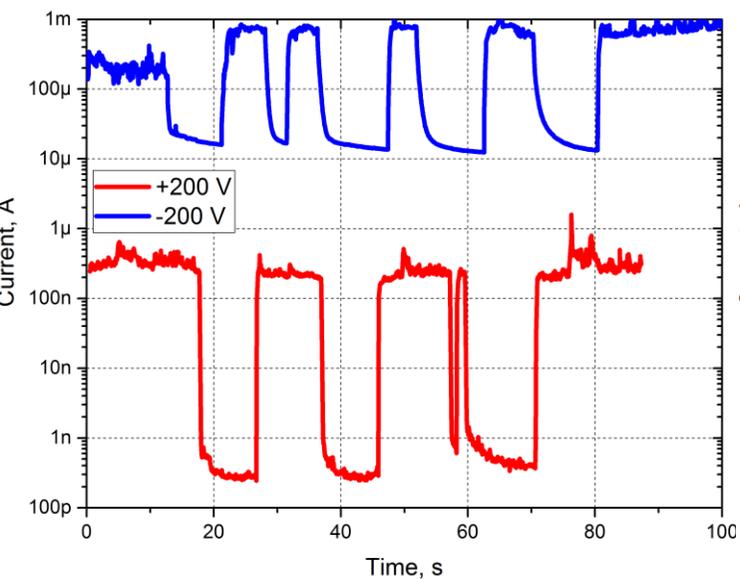
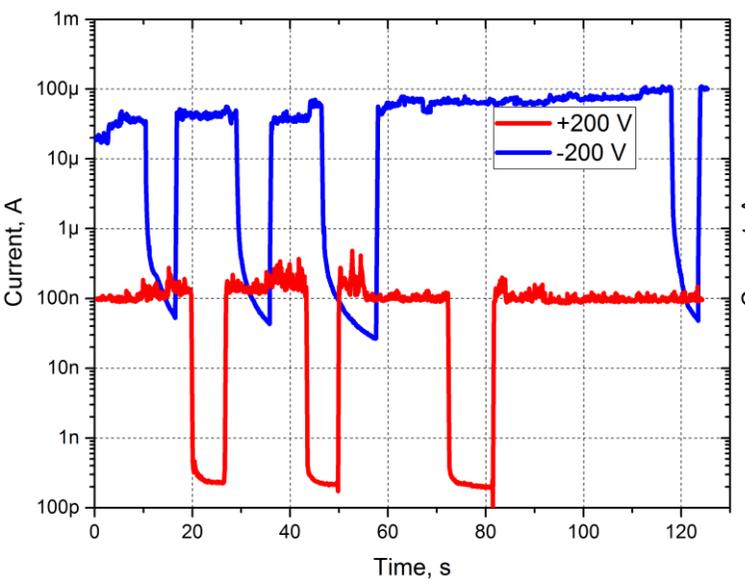
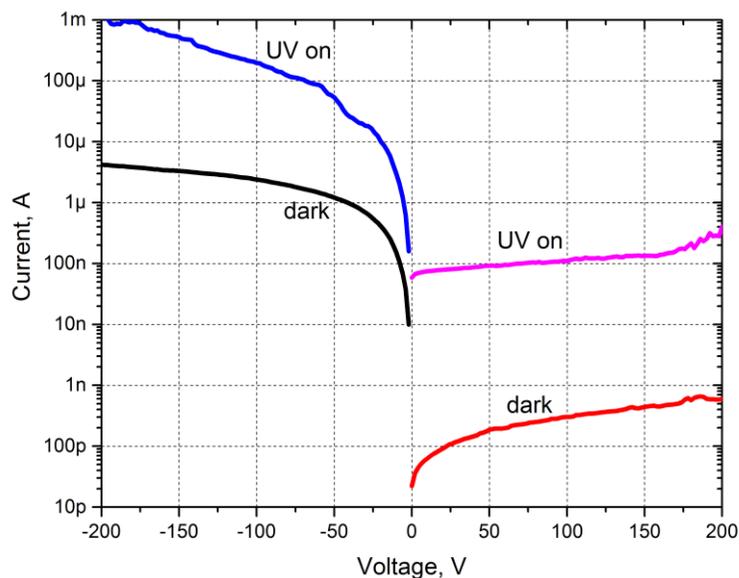
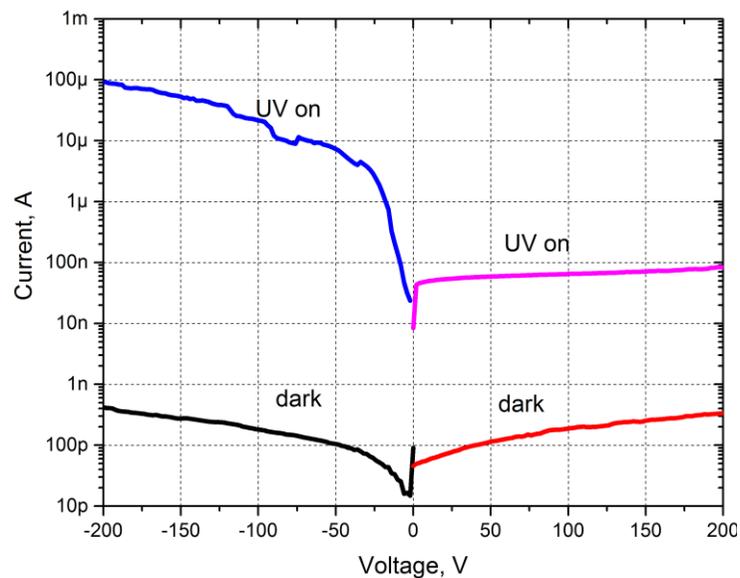
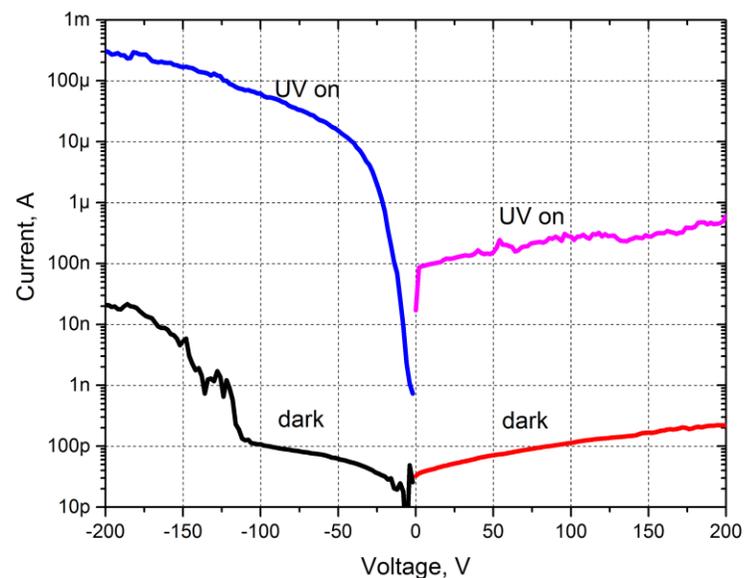


Детекторы ионизирующих излучений



- Несимметричность характеристик (различия в транспорте электронов и дырок)
- Большой разброс характеристик между образцами (даже из одного кристалла)
- Нестабильность характеристик

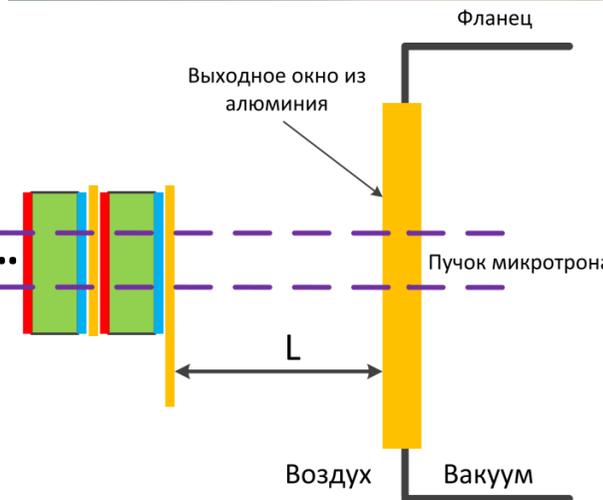
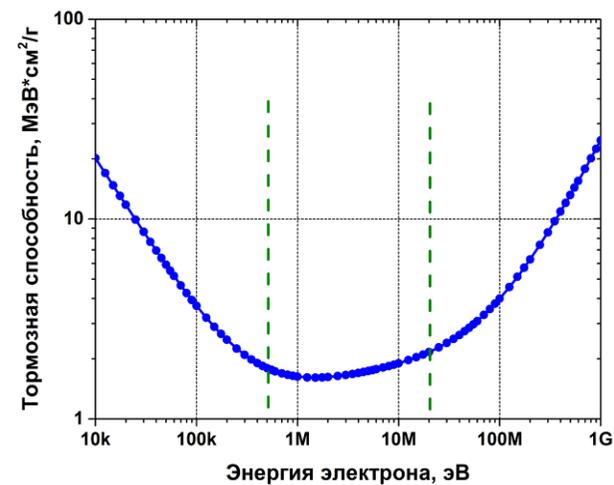
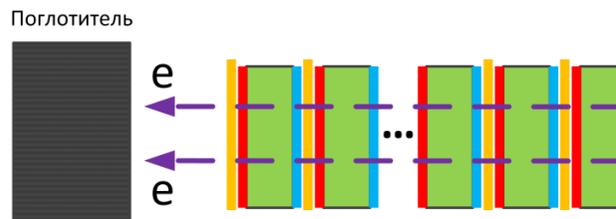
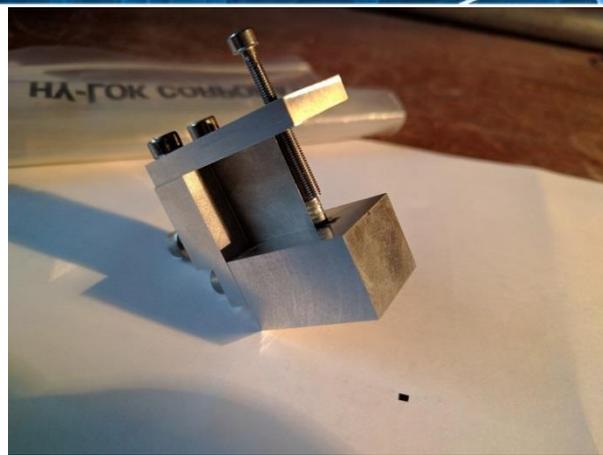
Детекторы ионизирующих излучений



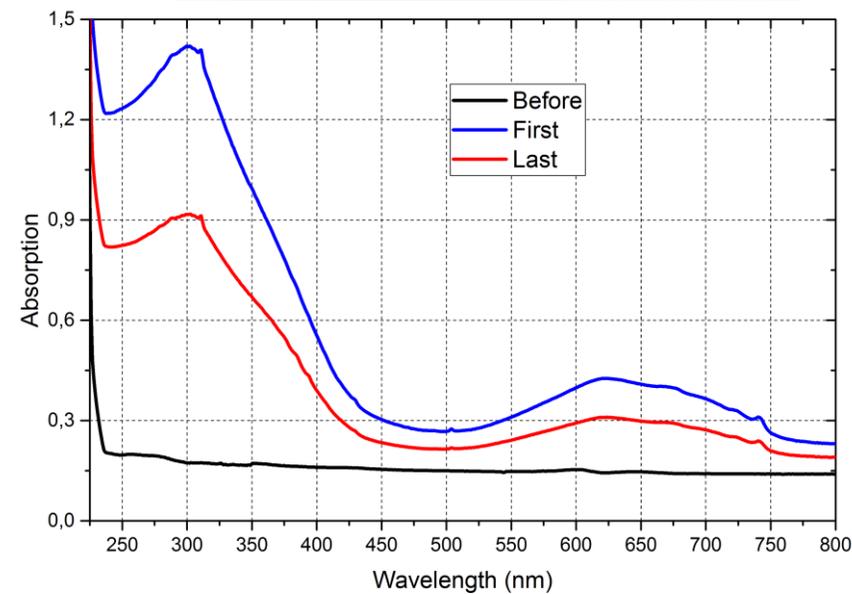
Наличие медленных «хвостов»

Поляризация объема детектора

Детекторы ионизирующих излучений

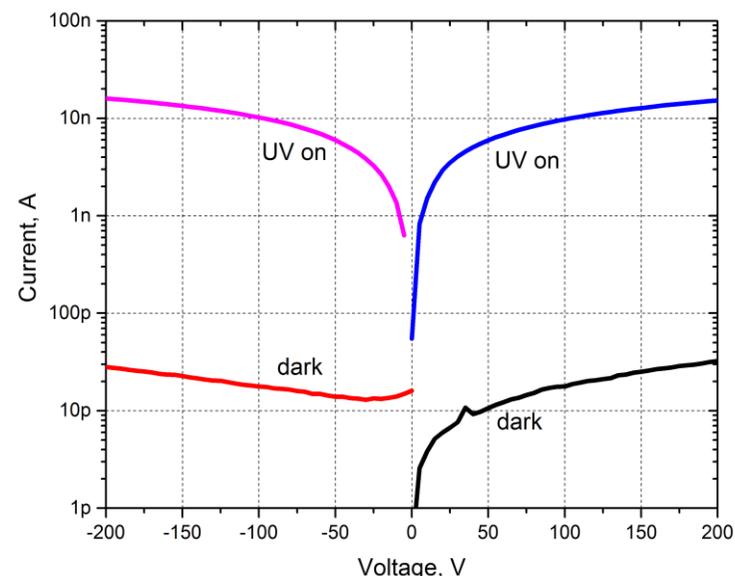
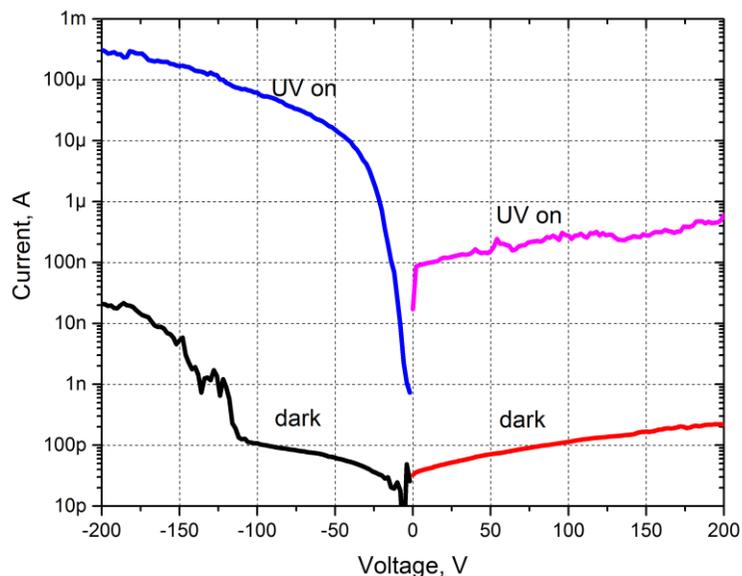


Общая толщина 5 мм
 Расстояние до окна 5 см
 Энергия 7÷4 МэВ
 Накопленная доза 70 Град

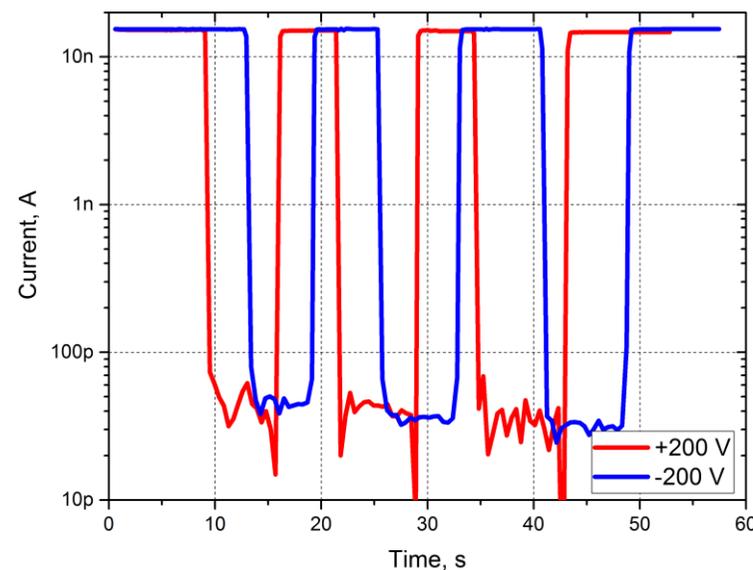
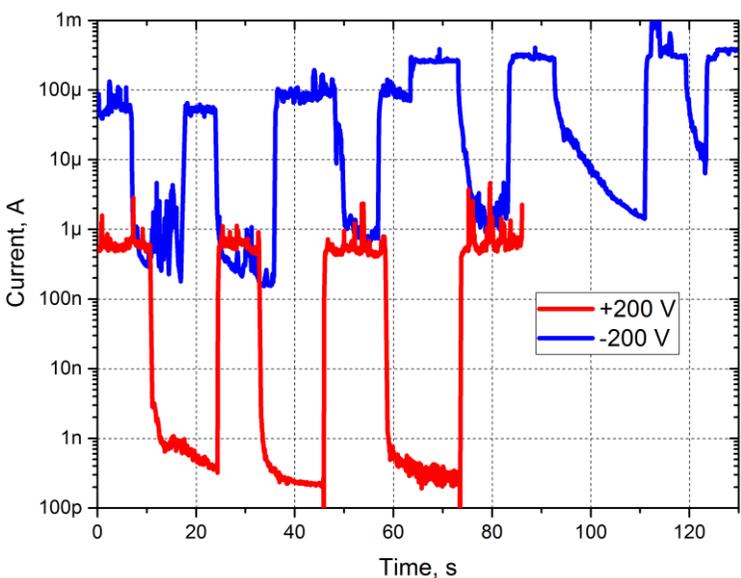


- изменение окраски
- влияние энергии пучка

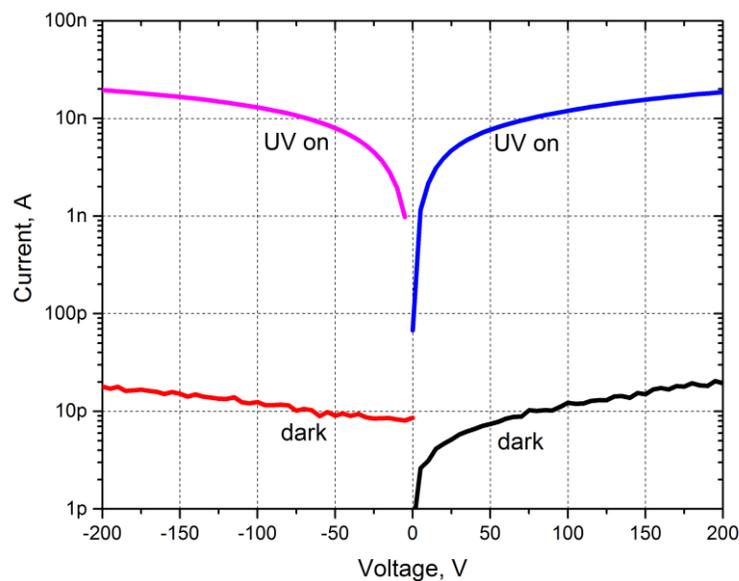
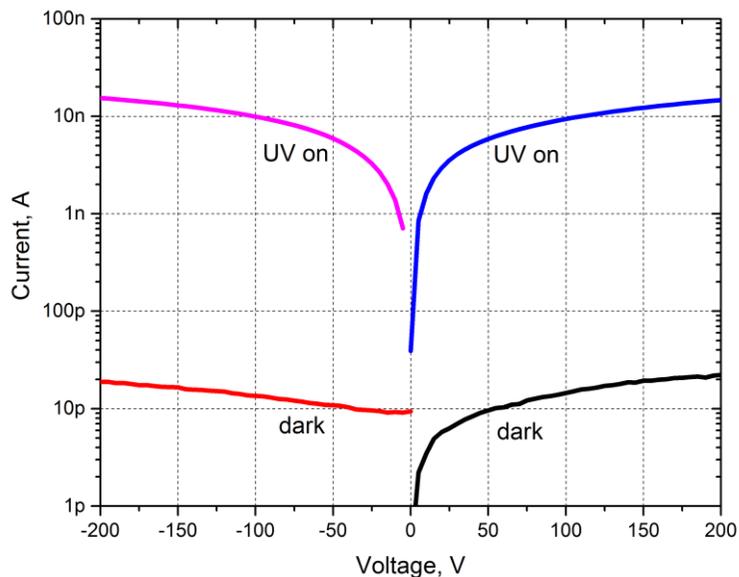
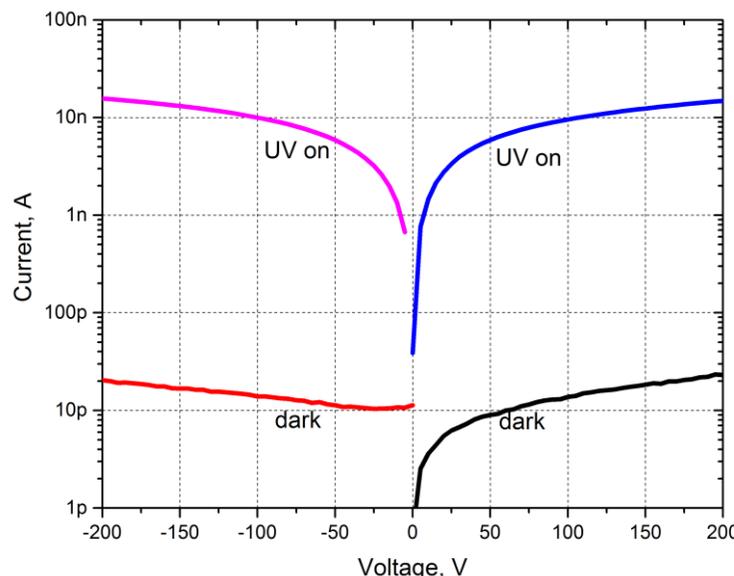
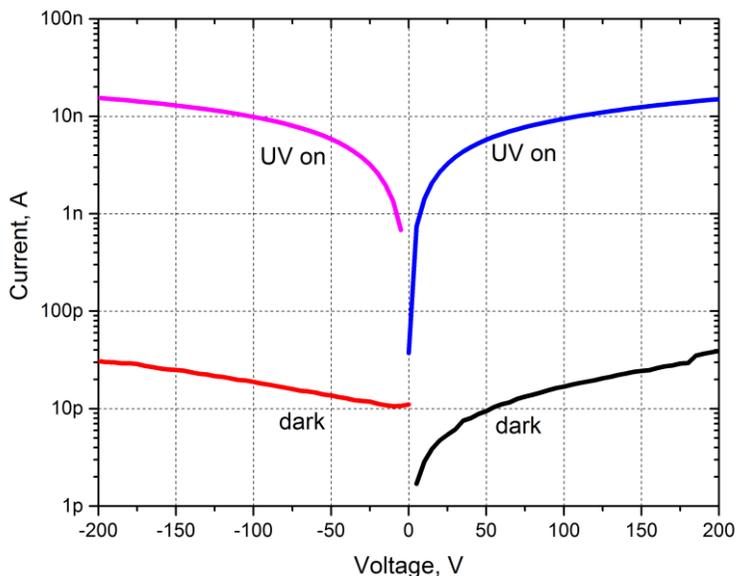
Детекторы ионизирующих излучений



- Симметричность характеристик
- Сильное снижение чувствительности
- Повышение быстродействия
- Повторяемость и воспроизводимость результатов
- Отсутствие захвата и накопления заряда



Детекторы ионизирующих излучений

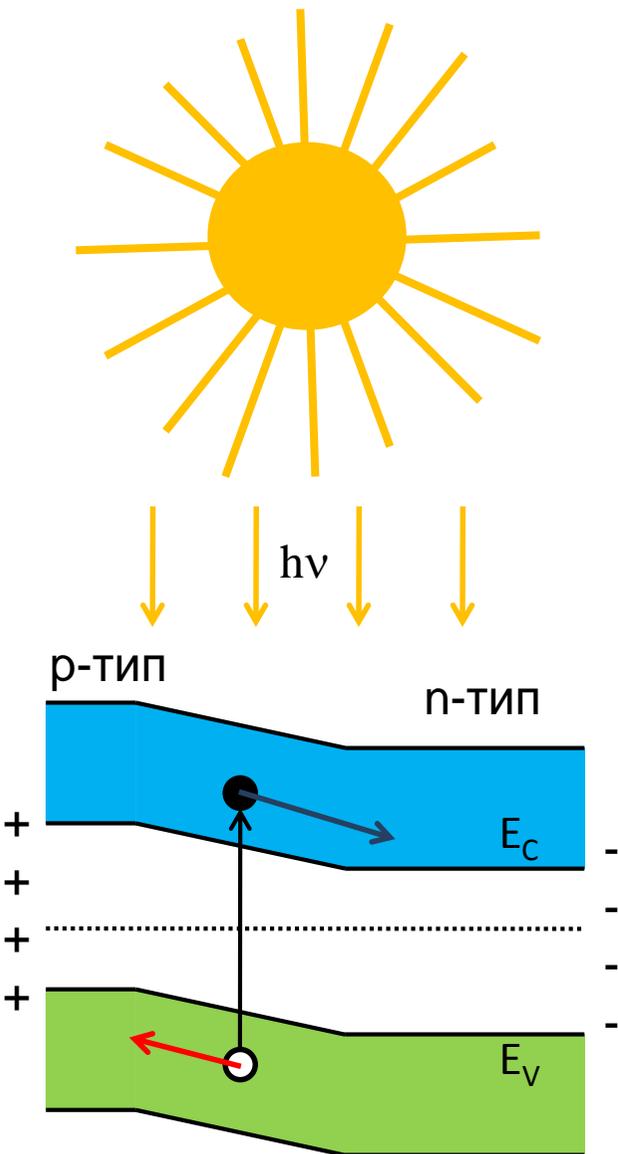


Практически полная
идентичность
(отличие фототока в
пределах 15%)
характеристик всех 10
детекторов (даже из
разных кристаллов)

Динамический
диапазон (~3 порядка)
достаточен для
практического
использования

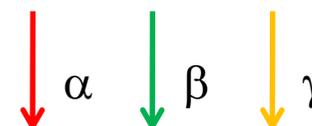
Преобразователи энергии бета-излучения

Солнечная батарея

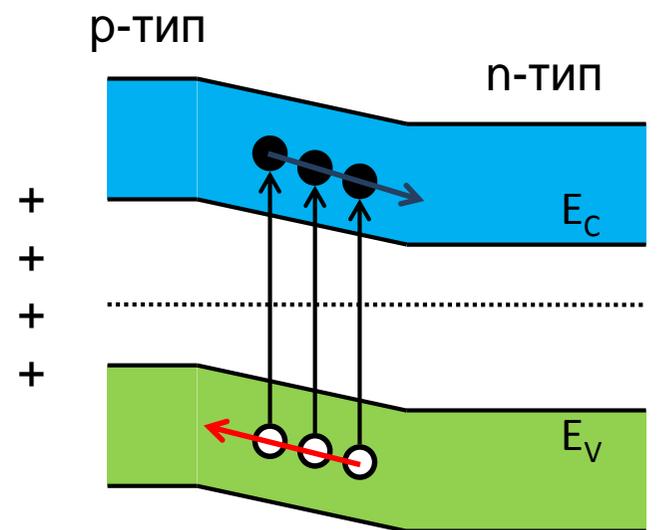


Радиоизотопный полупроводниковый генератор

РАДИОИЗОТОП



1. Низкая удельная мощность < 0,1 Вт/кг
2. Очень высокая удельная энергия > 50 кВт*ч/кг (AA Li 200 Вт*ч/кг)
3. Длительный срок службы до 50 лет (без зарядки или заправки)
4. Отсутствие движущихся частей (не нужно обслуживать)



Преобразователи энергии бета-излучения



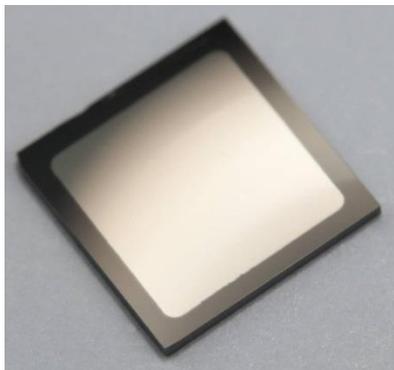
диод Шоттки вертикального типа

катод (Pt 25 нм)
контакт Шоттки

высококачественный
CVD алмаз

p+ подложка
HPHT IIb алмаз

анод (Ti/Pt/Au 100 нм)
омический контакт



Преобразователь

СВЧ плазма

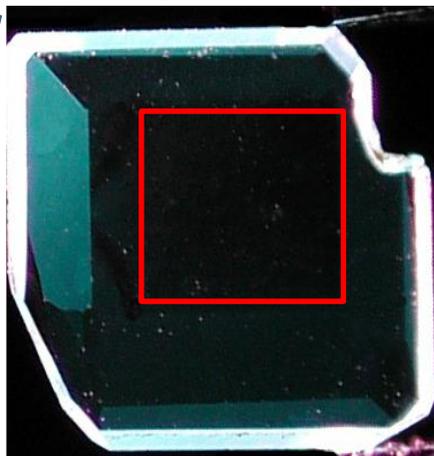


10 мкм

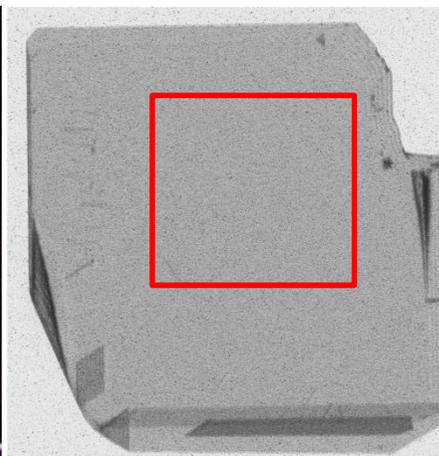


50 мкм

Отбор бездефектных областей



УФ-люминесценция



X-ray топография

- Камера из нержавеющей стали
- Базовый вакуум 10^{-7} мбар
- Pd очиститель для водорода
- Ультра-чистый CH_4
- Скорость ~ 2 мкм/ч
- Бор $\sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$
- Уд. сопротивление $\sim 10 \Omega \cdot \text{см}$
- Размер 3÷5 мм
- Толщина 50 мкм
- Низкая плотность структурных дефектов

Преобразователи энергии бета-излучения

Корпус для испытаний

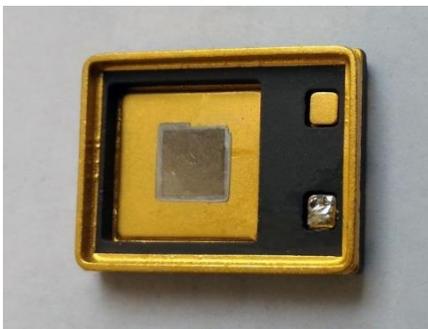
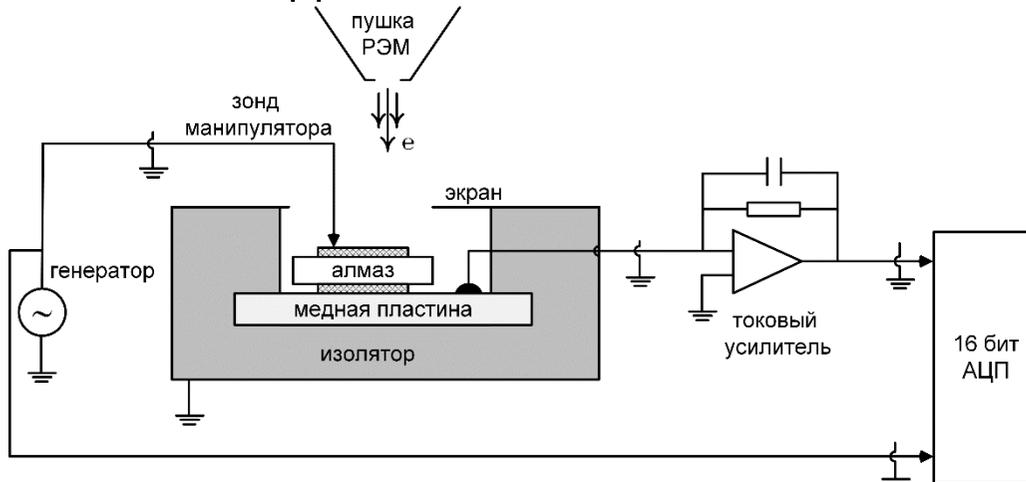


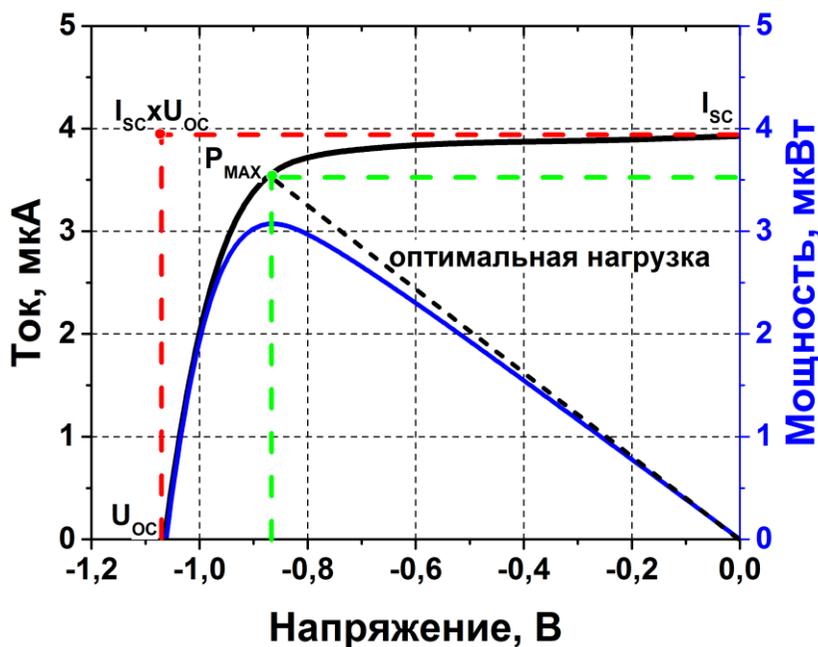
Схема установки измерения наведенного тока в РЭМ



РЭМ Quanta 200



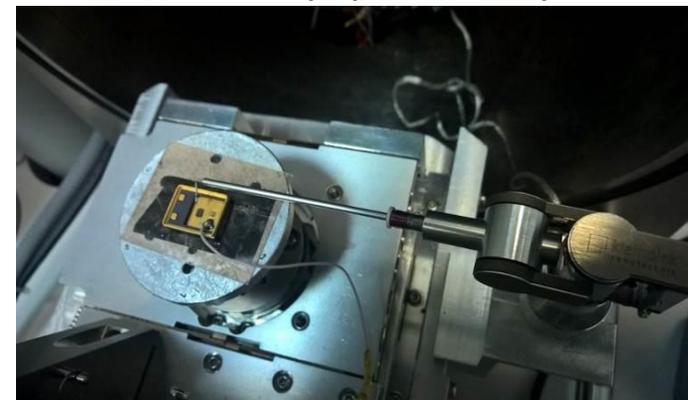
Типичный вид ФВХ



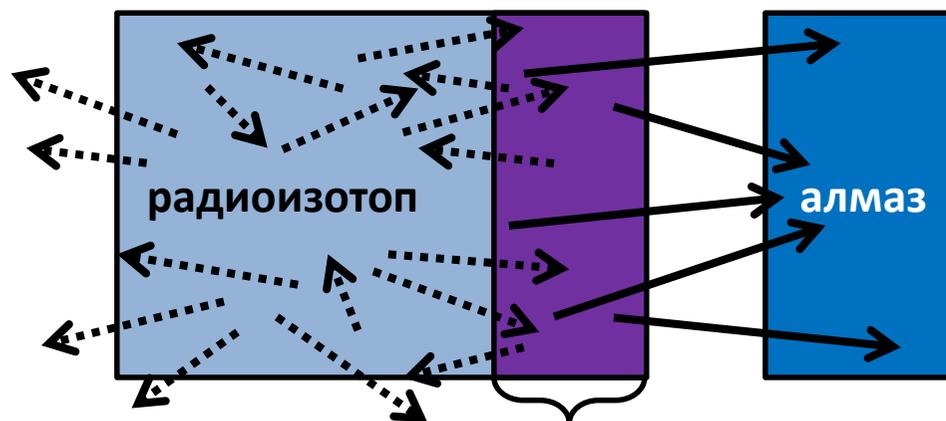
$$\eta_{\text{CONV}} = \frac{P_{\text{MAX}}}{I_{\text{BEAM}} \times U_{\text{BEAM}}}$$

$$FF = \frac{\text{Green Box}}{\text{Red Box}}$$

Вид внутри камеры



Преобразователи энергии бета-излучения



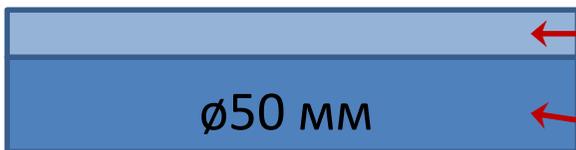
оптимальная толщина h

Ядро	Энерговыведение, мВт/см ²	$T_{1/2}$, лет	E_{\max} , МэВ	h , мкм	Тип источника
⁶³ Ni	0,01	100	0,07	3	β
¹⁴⁶ Pm	0,1	2,64	0,22	20	β
⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y	100	28,8	2,2	2000	β
³ H	0,1	12	0,02	10	β
¹³⁷ Cs	1	30	0,51	150	$\beta+\gamma$
²³⁸ Pu	1	88	5,50	10	α

Преобразователи энергии бета-излучения



Источник излучения



^{63}Ni (17%) 2 мкм

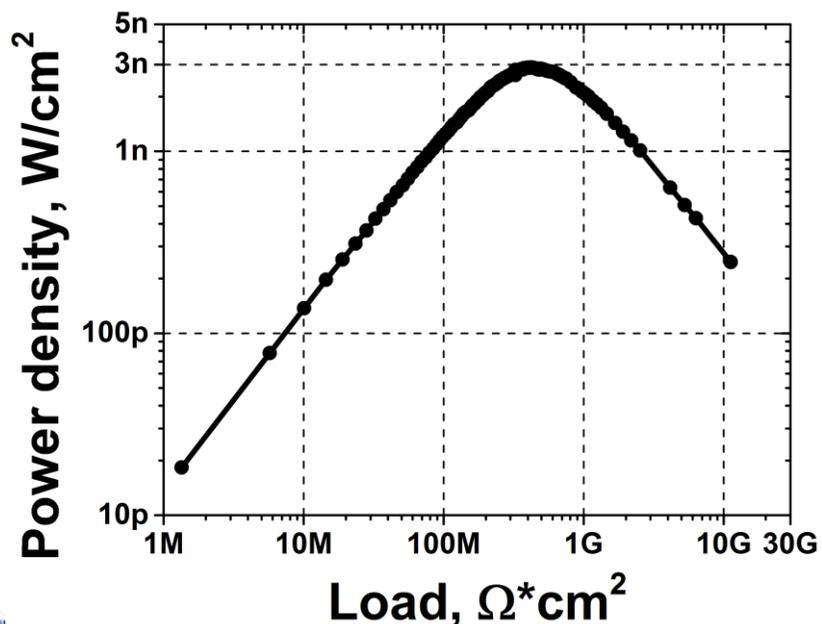
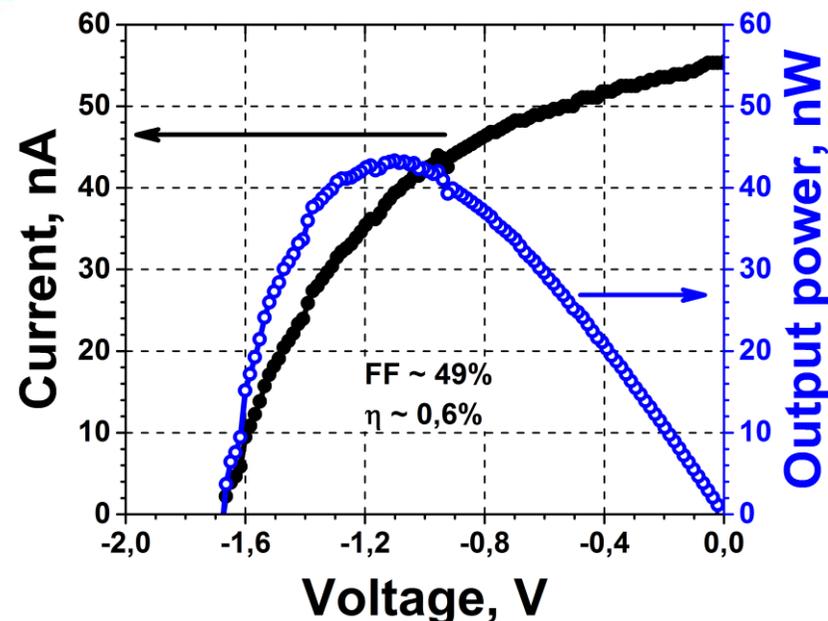
Ni (стаб.) 50 мкм

Параметры источника:

- Период полураспада 100 лет
- Средняя энергия бета 17.4 кэВ
- Удельная мощность 5.8 мВт/г (52 мВт/см³)
- Поверхностная активность 5 мКи/см²
- Общая выходная мощность 520 нВт/см²

Характеристики элемента питания:

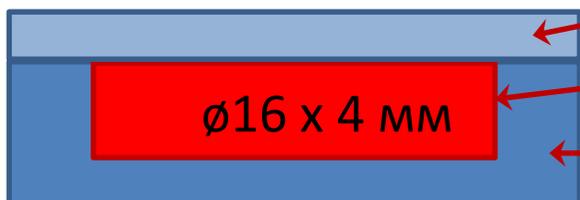
- Напряжение холостого хода 1.68 В
- Ток короткого замыкания 55 нА
- Выходная эл. мощность (макс) 45 нВт
- Плотность мощности 3 нВт/см²
- Общая эффективность 0.6%
- Фактор заполнения 49%



Преобразователи энергии бета-излучения



Источник излучения



Al фольга (200 мкм)

$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$

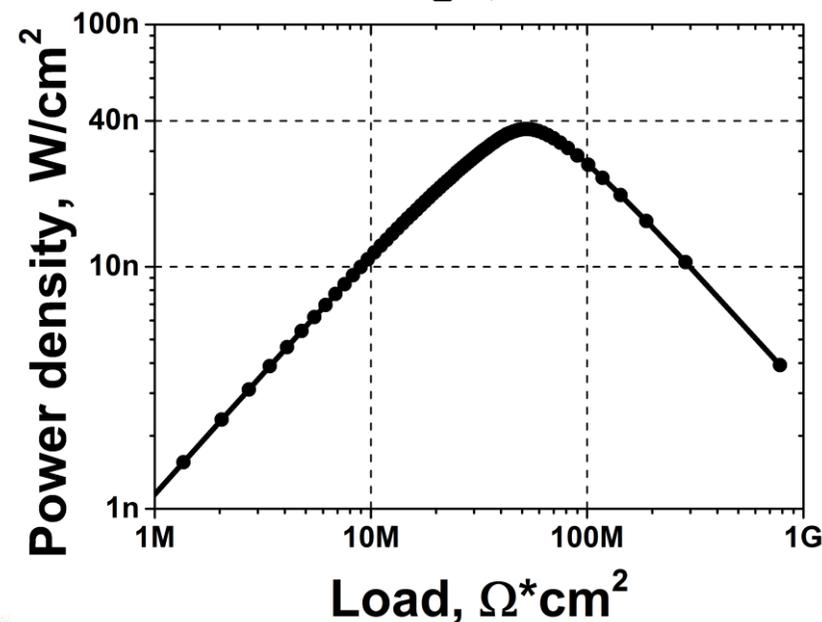
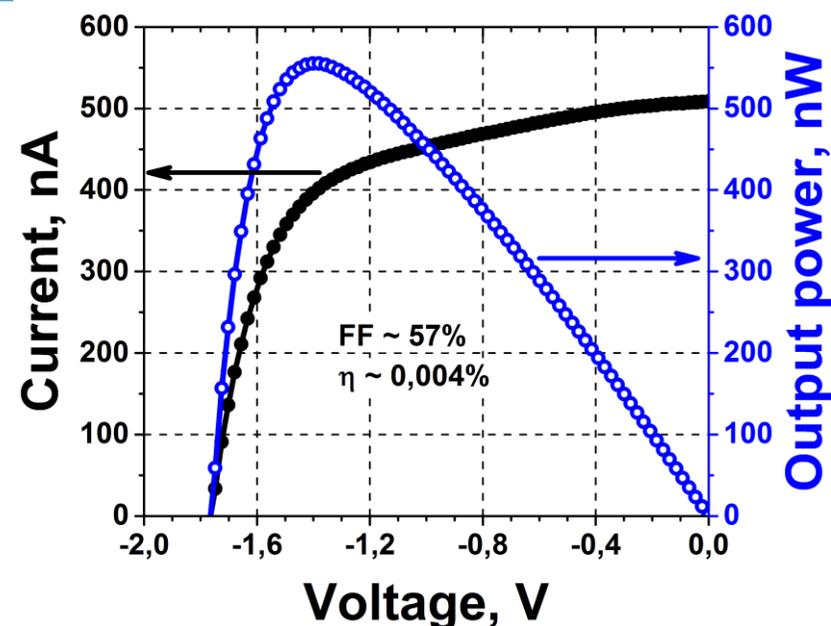
держатель

Параметры источника:

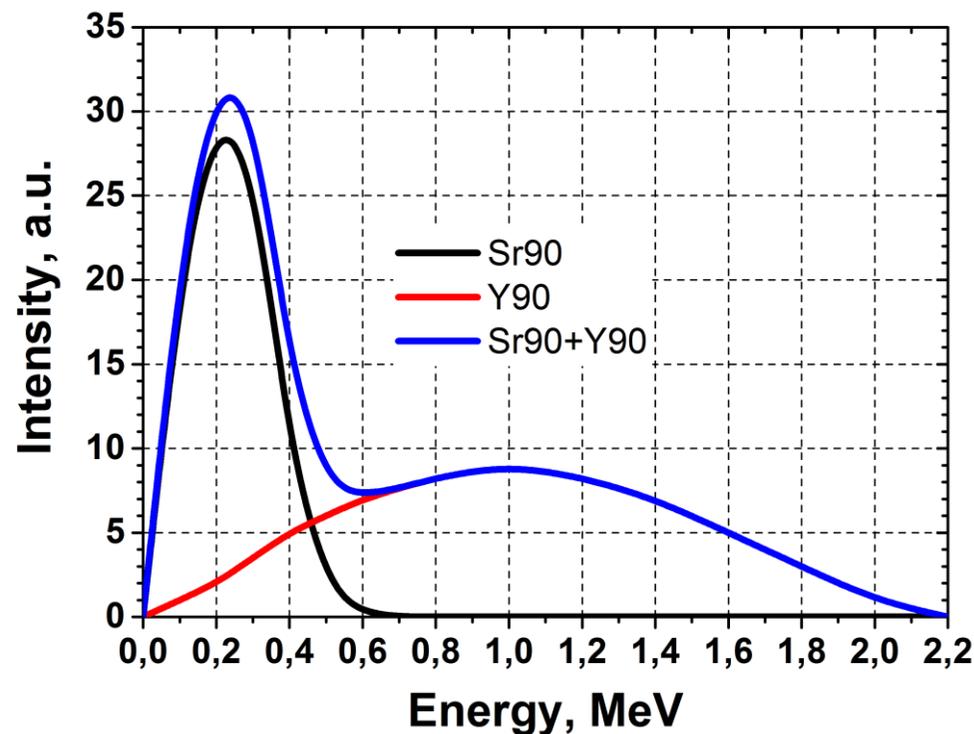
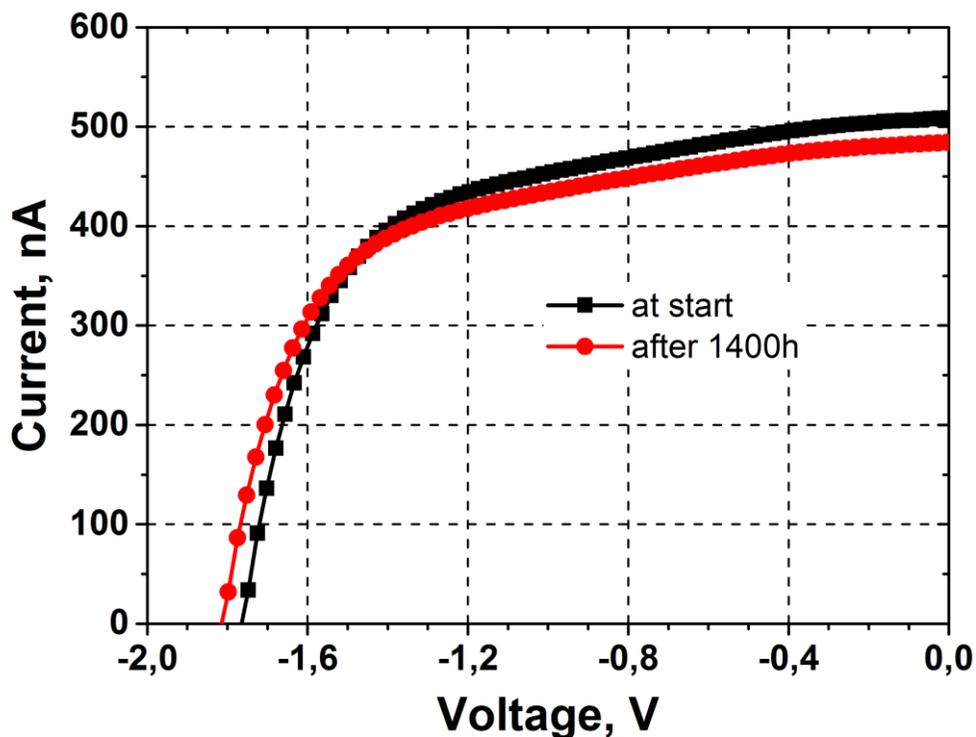
- Период полураспада 28.8 лет
- Средняя энергия бета 1.1 МэВ
- Удельная мощность 0.95 Вт/г (2.5 Вт/см^3)
- Поверхностная активность 1 Ки/см²
- Общая выходная мощность $\sim 1 \text{ мВт/см}^2$

Характеристики элемента питания:

- Напряжение холостого хода 1.77 В
- Ток короткого замыкания 0.5 мкА
- Выходная эл. мощность (макс) 0.56 мкВт
- Плотность мощности 38 нВт/см²
- Общая эффективность 0.004%
- Фактор заполнения 57%

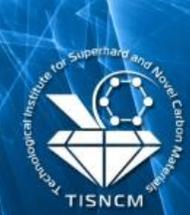


Долговременная стабильность под действием бета-излучения

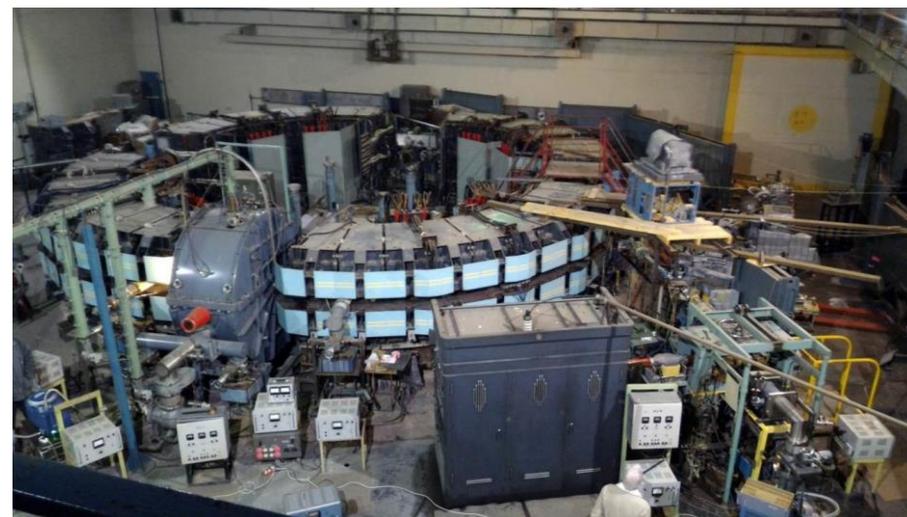
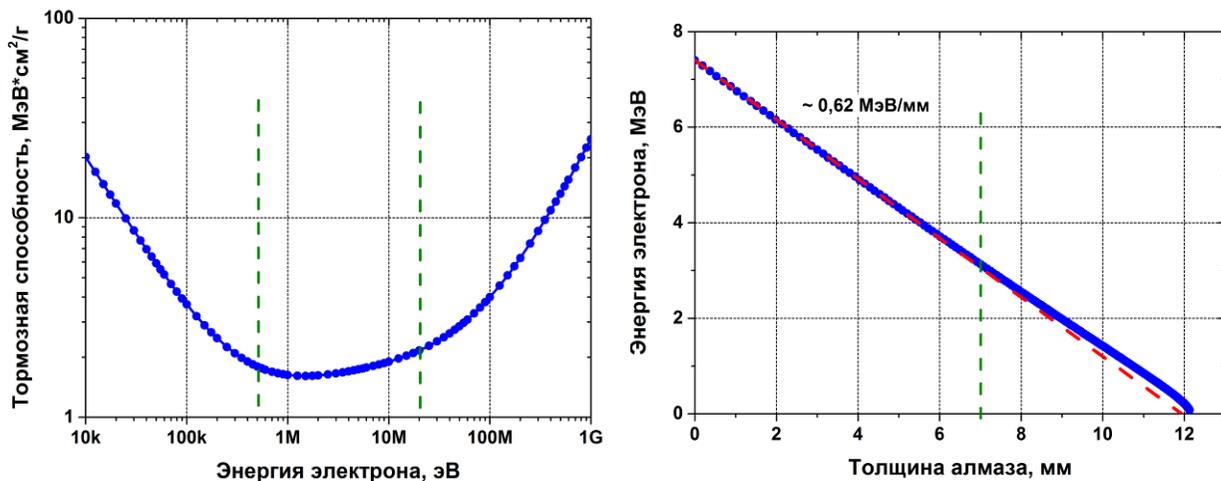


- облучение в течение 2 месяцев источником на основе изотопа стронция-90 не привело к заметному изменению характеристик преобразователей (накопленная доза ~ 5 крад)
- требуется подтвердить стабильность параметров при суммарной накопленной дозе ~ 1 Град (срок службы 30 лет)

Преобразователи энергии бета-излучения



Потери энергии электрона в алмазе



Держатель образцов с системой позиционирования

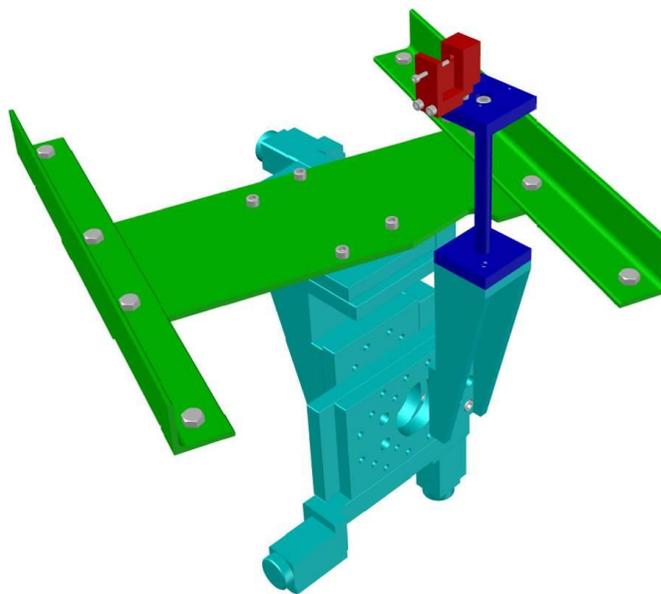
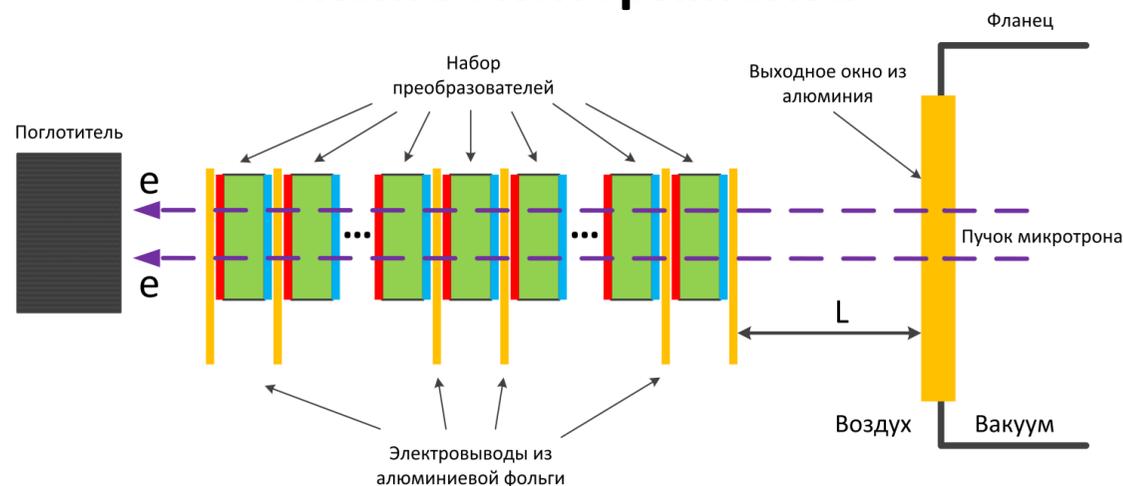


Схема эксперимента



Проекты с финансовой поддержкой

1. Проведение исследований стабильности параметров преобразователей энергии на основе алмаза от накопленной дозы в диапазоне энергий электронов от 2 до 7 МэВ
2. Подбор оптимальных условий облучения (доза и энергия) для предварительной обработки синтетических и природных алмазов при изготовлении чувствительных элементов детекторов гамма-излучения

Перспективные направления

1. Отработка режимов облучения (доза и энергия) для получения фантазийной окраски природных кристаллов низкого качества по цвету
2. Исследования кинетики релаксации неравновесных носителей заряда в алмазном детекторе при облучении электронным пучком микротрона
3. Исследования стойкости прототипов электронных устройств (диод Шоттки, полевой транзистор) на основе алмаза к воздействию гамма- и бета-излучения

Спасибо за внимание!