



Status and plans of R&D for Si-detectors on BM@N

N. Zamyatin on behalf of Forward Silicon Detector team

R&D for Si-detectors on BM@N

1. Design of new Si-station #5 for FSD:

- two planes with 11 pcs of Si-modules;
- active area of Si-modules (186×63)mm²;
- Number of FEE-channels (strips) of station - 128×10×22=28 160 ch;
- Contract # 100-03046 (26.07.2024), ZNTC-JINR for production 50 pcs of DSSD and 60 pcs of PA-640.

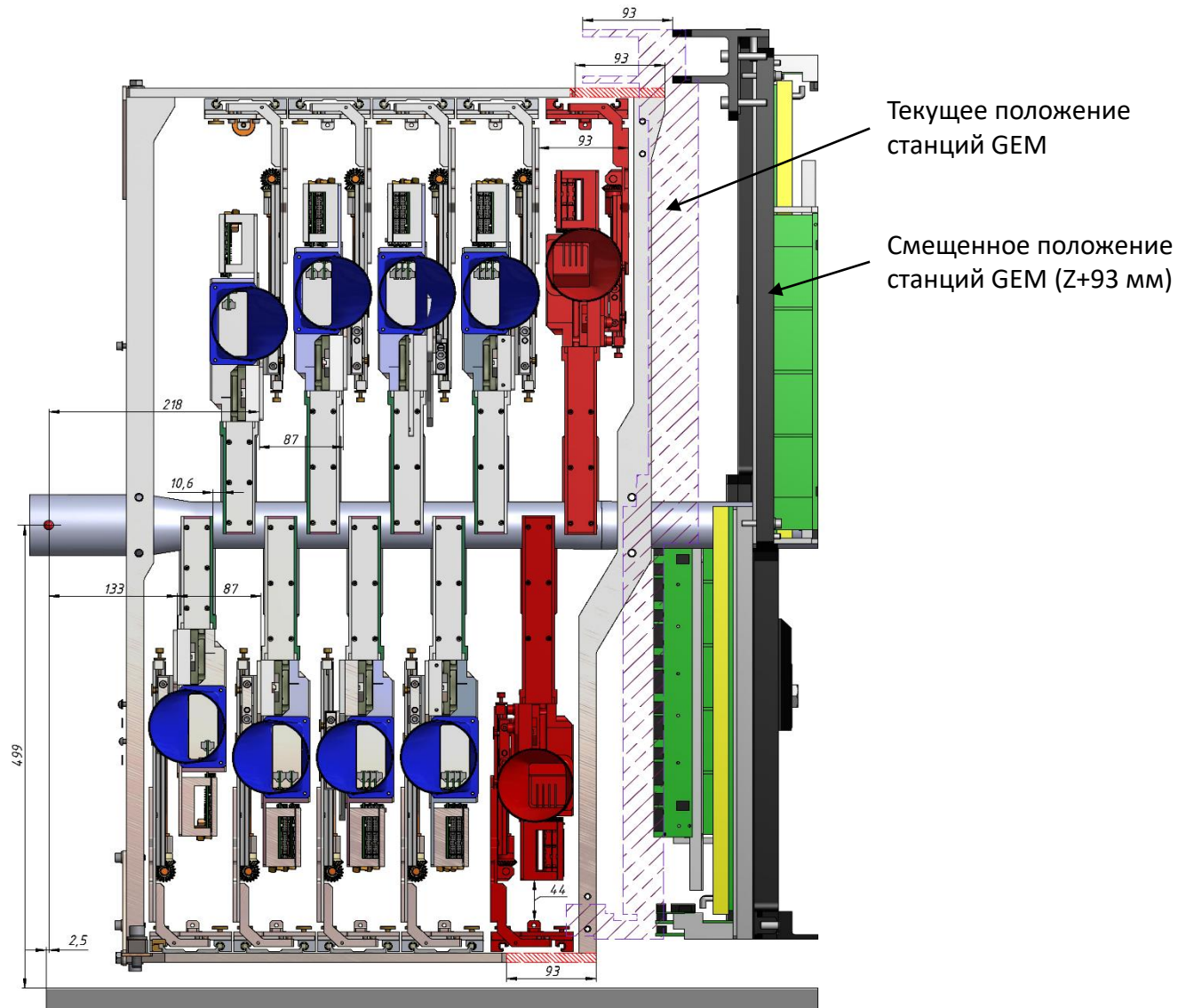
2. Design of ASIC-128 ch chip (*ASi-BM@N*) for FEE station#5 FSD:

- design and simulation of chip (2022-2023 years);
- GDS files for production experimental chips;
- Contract # 100-03185 (06.08.2024), INP BSU (Minsk) - JINR for production 3 wafers/2000 chips – in 2024-2025 years;

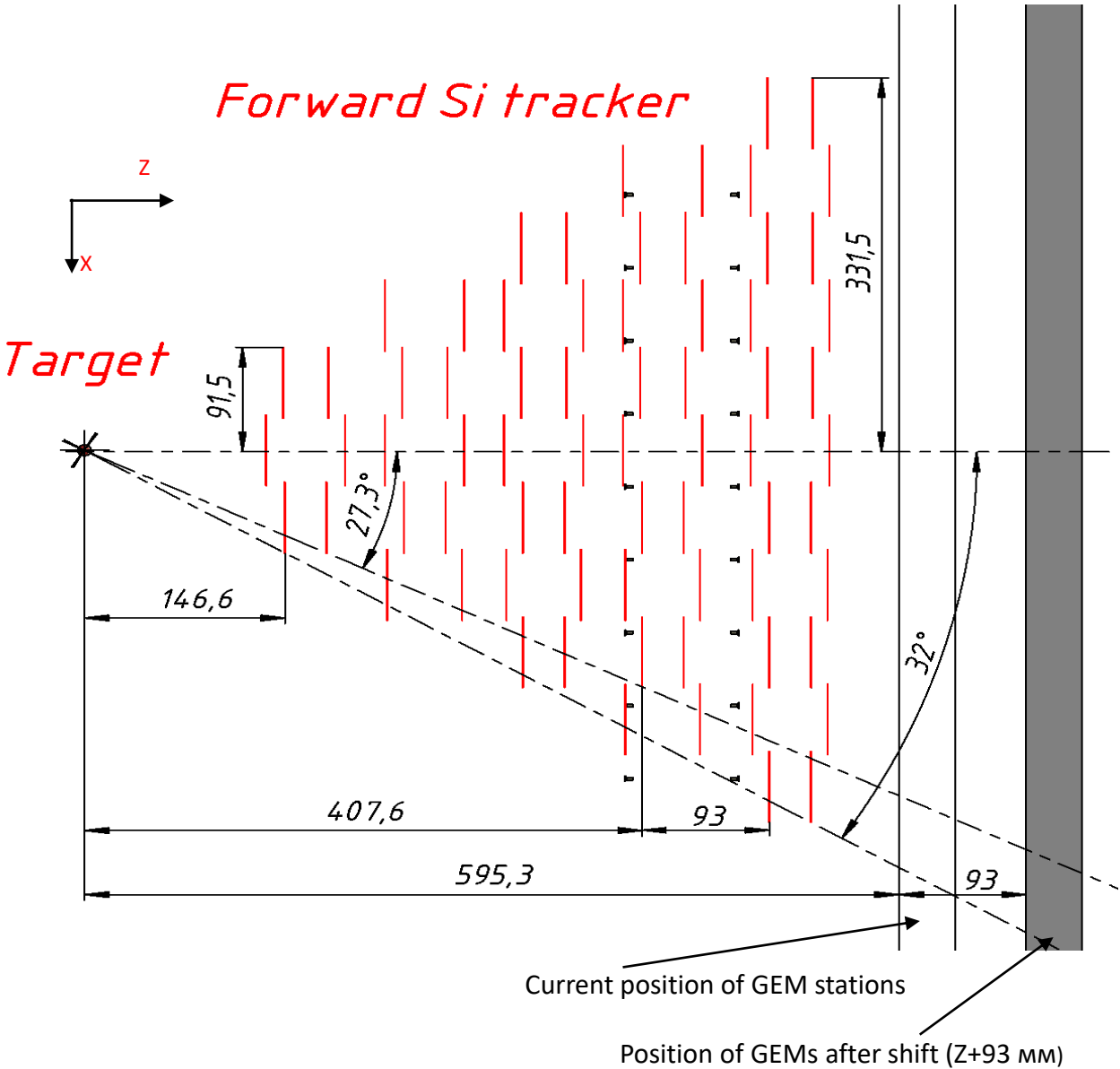
3. Design of new beam profilometer for heavy ions Xe(10.8 pC/175 μm-Si), Au (20.9 pC/175 μm-Si), Bi) with high dynamic range of ΔE-signals (240÷500 MeV/175 μm-Si).

4. Experimental measurements of neutrons equivalent fluence (1 MeV) in FSD region (on outer surface beam-pipe and in region FEE-chips)

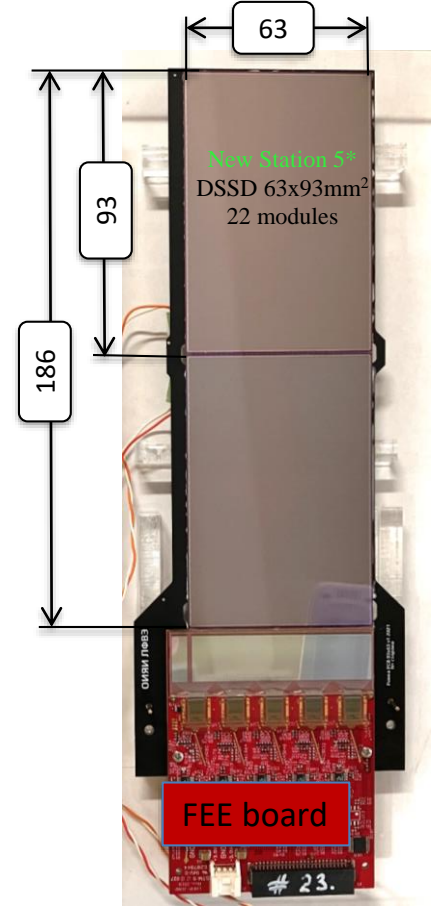
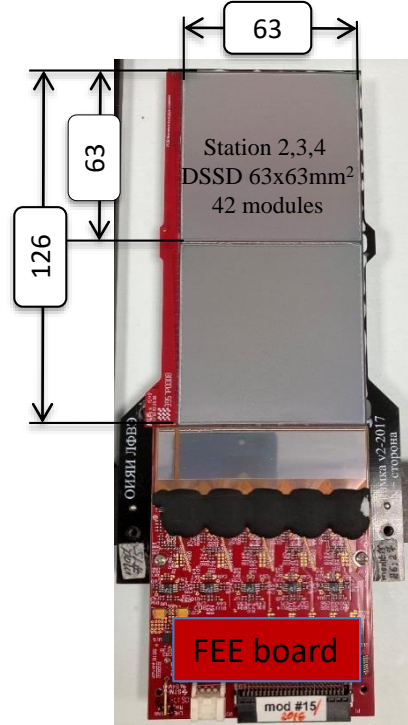
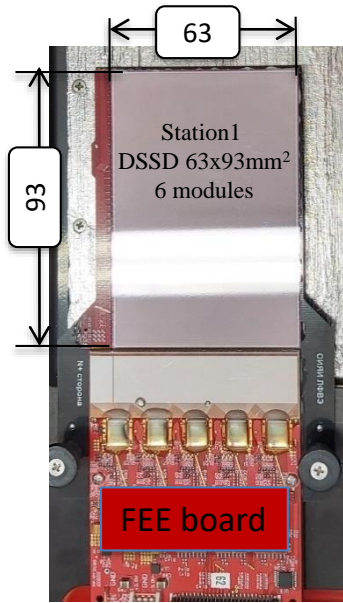
1. Position of the new FSD-station #5 on the BM@N



X-Z cross section of central tracker



Three type of Si-modules for Forward Si detector



Detectors size: $63 \times 93 \times 0,3 \text{ mm}^3$ (on 6" – FZ-Si-n wafers)

Topology: double sided microstrip (DSSD) (DC coupling)

Pitch p^+ strips: $95 \mu\text{m}$;

Pitch n^+ strips $107,1 \mu\text{m}$;

Stereo angle between p^+/n^+ strips: 2.5°

Number of strips/DSSD: $640 (p^+) \times 603 (n^+)$

Number of strips/module: $640 (p^+) \times 640 (n^+)$

Detectors size: $63 \times 63 \times 0,3 \text{ mm}^3$ (on 4" – FZ-Si-n wafers)

Topology: double sided microstrip (DSSD) (DC coupling)

Pitch p^+ strips: $95 \mu\text{m}$;

Pitch n^+ strips $103 \mu\text{m}$;

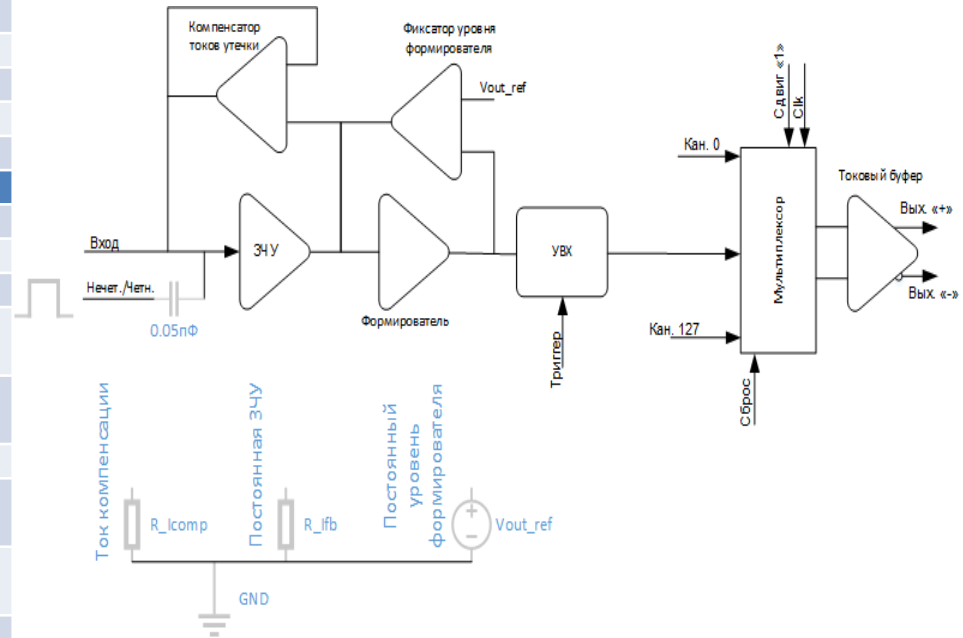
Stereo angle between p^+/n^+ strips: 2.5°

Number of strips/DSSD: $640 (p^+) \times 614 (n^+)$

Number of strips/module: $640 (p^+) \times 640 (n^+)$

2. Main parameters and block scheme of ASIC-128 ch/ASi-BM@N

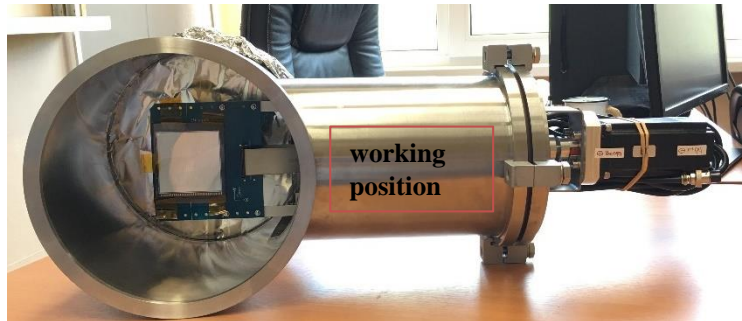
Параметры детектора	
Тип детектора	Кремниевый, стриповый, двухсторонний
Толщина кремниевого детектора	(200÷500) мкм
Сигнал детектора, т.і.р.	4 фКл/300 мкм
Напряжение смещения, В	До 100 В
Емкость стрипа, пФ	20÷100
Параметры ИС	
Технология	CMOS, 180нм
Количество каналов	128
Напряжение питания, В	1.8 (однополярное)
Ток потребления аналоговых блоков, мА	115
Ток потребления цифровых блоков, мА	12
Рассеиваемая мощность, мВт	229
Структура канала	ЗЧУ+Формирователь+СВХ+Мультиплексор
Защита по входам	Контактные площадки с защитными диодами
Компенсация токов утечки	До 5 нА, автоматическая, отключаемая
Тестирование	Нечетных и четных через встроенные конденсаторы ёмкостью 0.05 пФ
Тестовый канал	Контроль формы и амплитуды выходного
Время формирования, нс	300 и 200
Порядок формирователя	4
Линейный диапазон входных зарядов, фК	+/-30
Коэффициент преобразования аналогового выхода, мкА/фКл	20
ENC (r.m.s.), е	215e+11.6 е/пФ
Мультиплексор	128:1
Частота чтения данных, МГц	20
Выход мультиплексора	Токовый, дифференциальный
Цифровые сигналы управления	LVDS



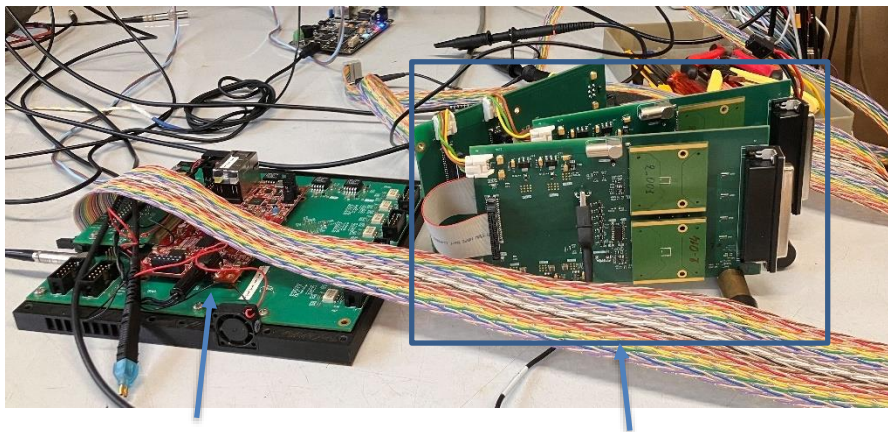
Переключатели:

- 1) Время формирования: «1» - 300 нс, «0» - 200 нс
- 2) Полярность сигнала: «1» - минус, «0» - плюс
- 3) Автоматическая компенсация токов утечки: «1» - включение
- 4) Автоматическая фиксация постоянного уровня формирователя: «1» - включение

3. New beam profilometer for heavy ions (Xe, Au, Bi) with Si-detector (64×64) strips



Beam profilometer inside beam vacuum station



Beam profilometer standalone DAQ

New readout electronics for beam profilometer

Beam profilometer
is necessary for beam tuning in self trigger mode
(alignment of the center beam with the center of the target)

- **detector:** DSSD, (128p⁺×128n⁺), strips pitch = 475 μm, thickness (Si) -175 μm, active area (61 × 61) mm². Strips are combined in pairs on detector board. Total have (64p⁺×64n⁺), pitch = 950 μm
- **mechanical design:** the plane of the profilometer is automatically removed from the beam zone to the parking position
- **FEE** based on two VA32HDR11 ASICs. Total number of channels are 64 for X and 64 for Y coordinate. Dynamic range of signals: -35pC ÷ +25pC. Charge of ionization for heavy ions Xe(10.8 pC/175 μm-Si), Au (20.9 pC/175 μm-Si), Bi) corresponded of ΔE-signals (240÷500 MeV/175 μm-Si).
Peaking time 800 ns.
Self trigger mode based on TA32cg2 ASICs
- **current status:**
FEE have been designed, manufactured, work in progress to electronics tests.
Next step is testing FEE with Si detector placed in flanges with alpha-source (5.5 MeV) and standalone DAQ subsystem.

4. Radiation Si-monitors on FSD region for equivalent neutron fluence measurement

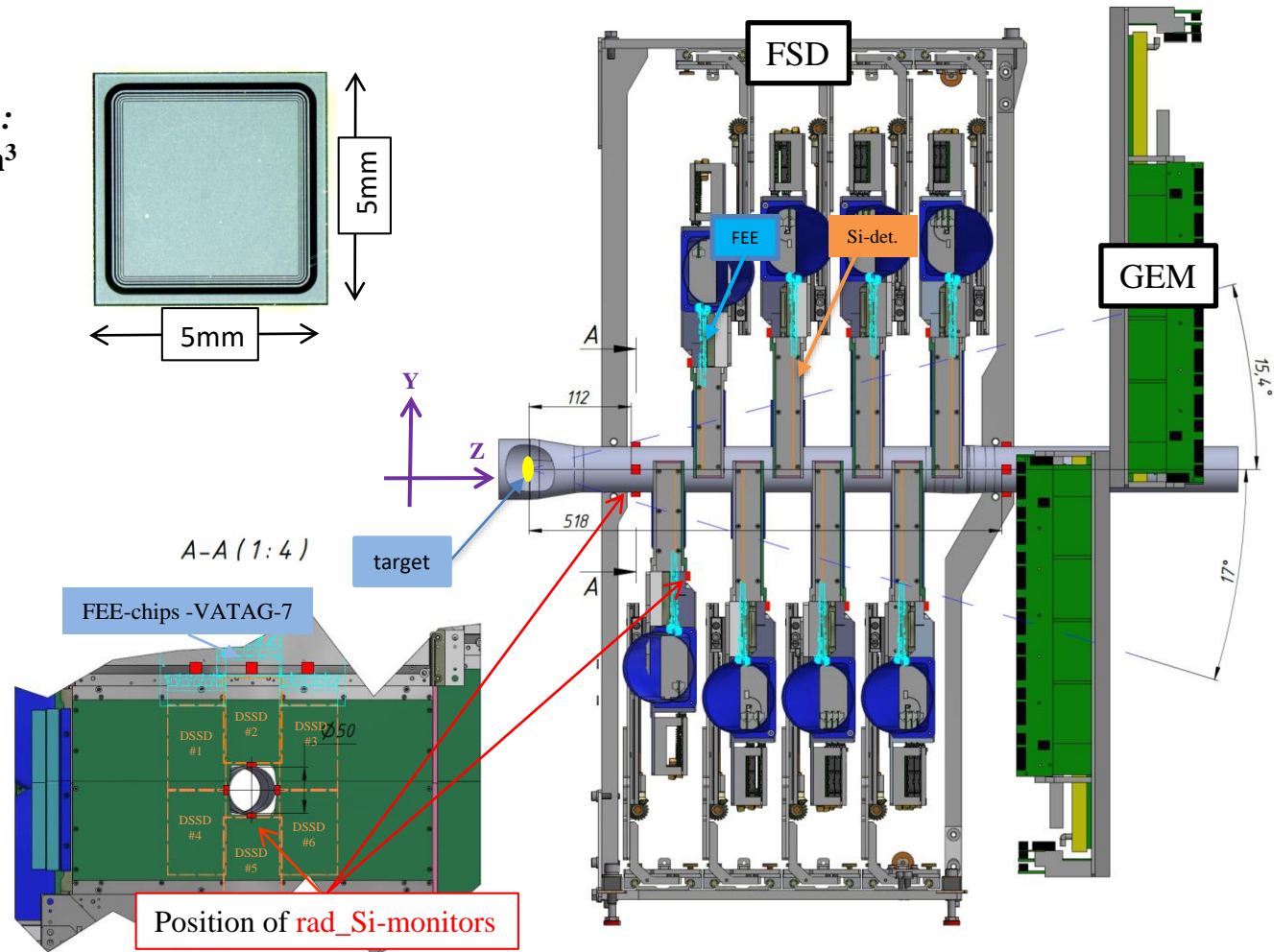
Si-pin-detector (rad_monitor) :

- Detectors size: $(5 \times 5 \times 0,3) \text{ mm}^3$
- Detectors thickness: $300 \text{ }\mu\text{m}$
- Active area: 13 mm^2

$$\Delta I = \alpha_1 \times V \times \Phi$$

$\Delta I = I_\phi - I_0$, (A):

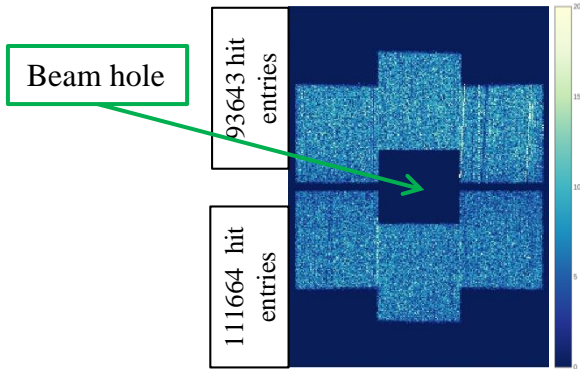
- I_ϕ – dark current after irradiation;
- I_0 - dark current before irradiation;
- $\alpha_1 = (5 \pm 0,5) \cdot 10^{-17} (\text{A} \times \text{cm}^{-1})$ – radiation damage constant-Si (for neutrons 1MeV at $+20^\circ$);
- V , (cm^3) – volume of SCR (space charge region at U_{fd});
- Φ , (cm^{-2}) – eq. neutron fluence (1 MeV)



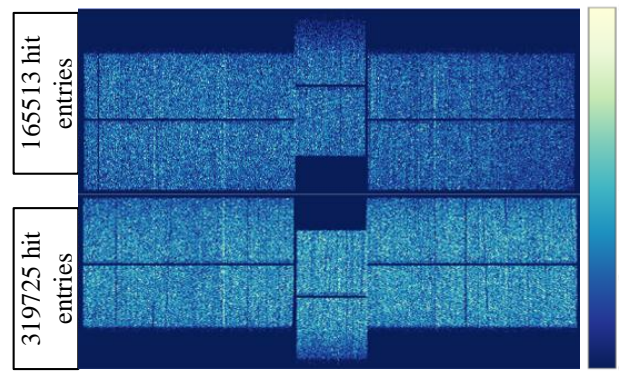
Приложение-1:
(девять следующих слайдов)

FSD: after replacing

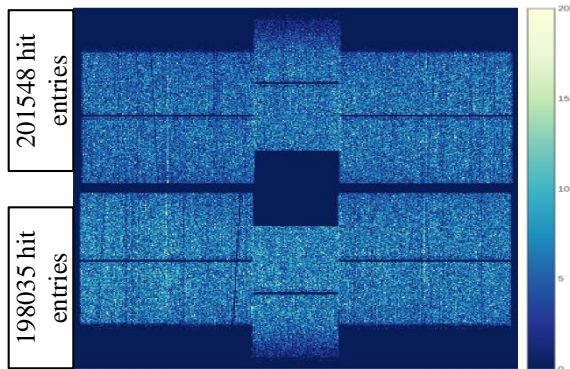
Cosmic tests station 1



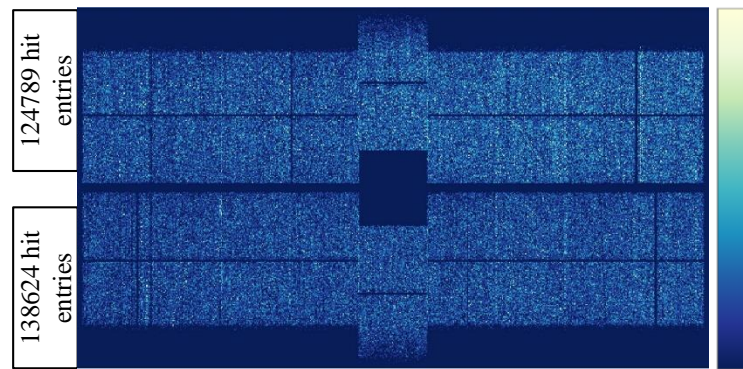
Cosmic tests station 3



Cosmic tests station 2



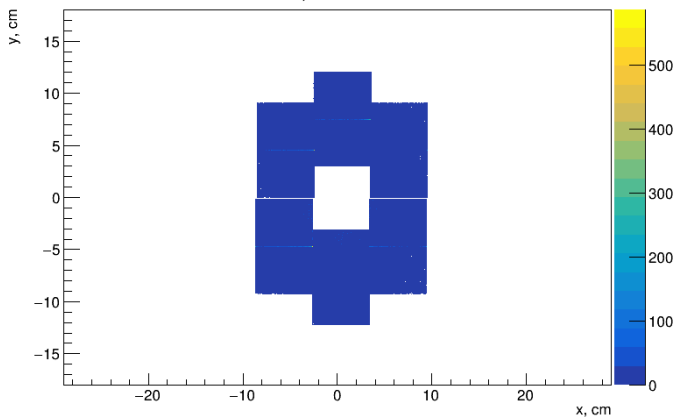
Cosmic tests station 4



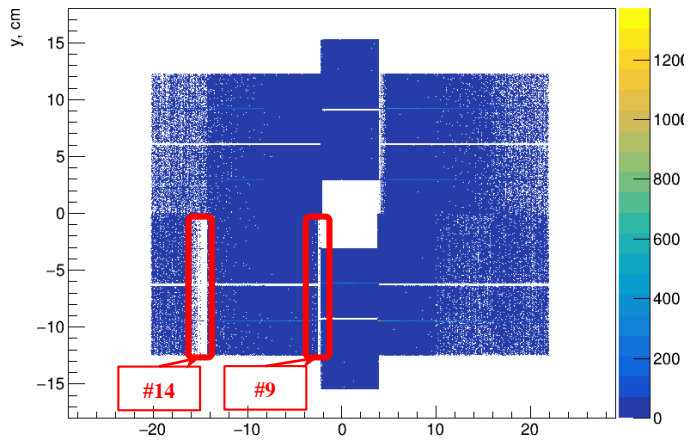
All dead zones have been eliminated!

FSD: before replacing (Run 8305, 30.01.2023)

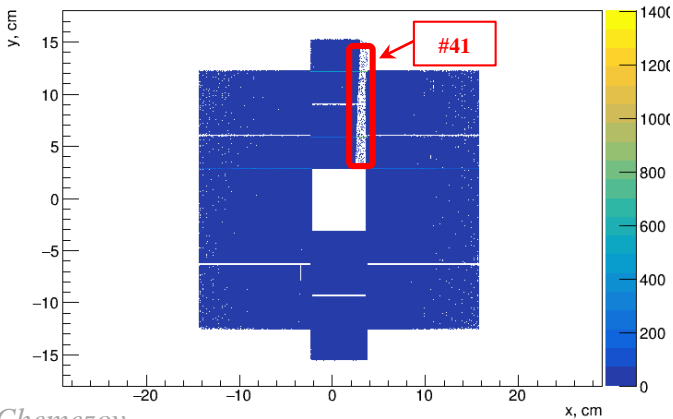
Hits on station 1
6 modules, DSSD 63×93 mm²



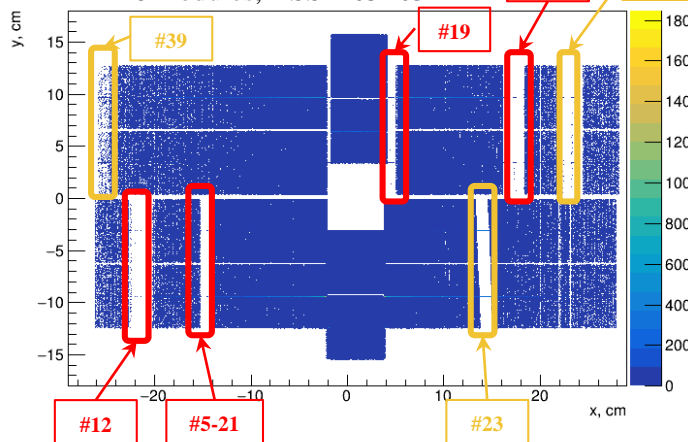
Hits on station 3
14 modules, DSSD 63×63 mm²



Hits on station 2
10 modules, DSSD 63×63 mm²



Hits on station 4
18 modules, DSSD 63×63 mm²



Run	8305
Beam	Xe
Energy	3.8 GeV/n
Target	Csl (2%)

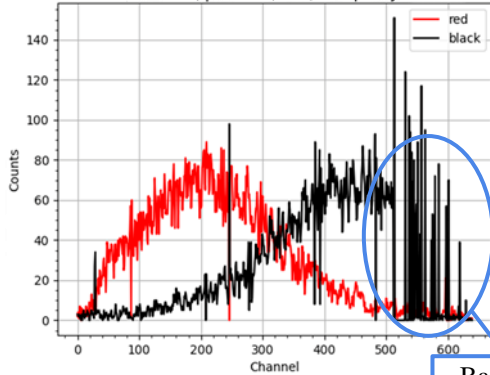
Summary:
10 dead zones, 3 were discovered before the run and 7 occurred during the run

Module	Chip
#41	5Y
#14	5X
#9	5X
#39	1X
#19	5X
#13	4X, 5X
#17	4X, 5X
#12	4X, 5X
#5-21	5X
#23	4Y

FEE board replacing

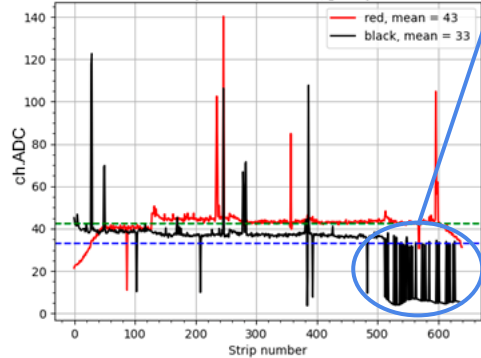
Mod #17

Module 17, β -source, 75V, occupancy

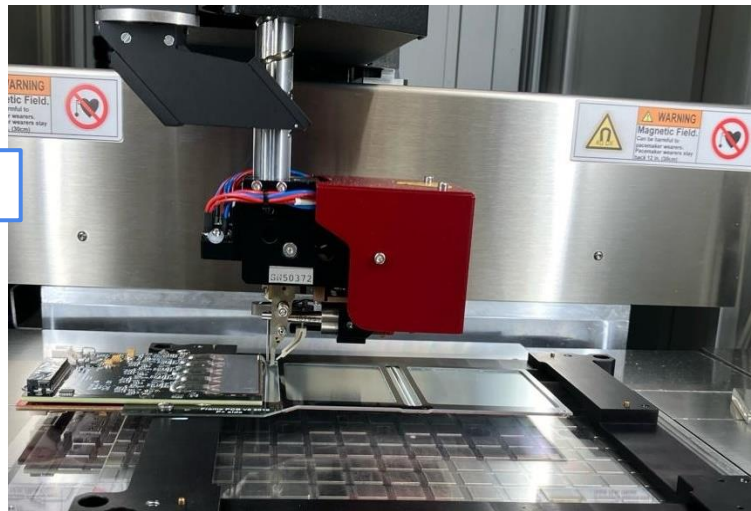
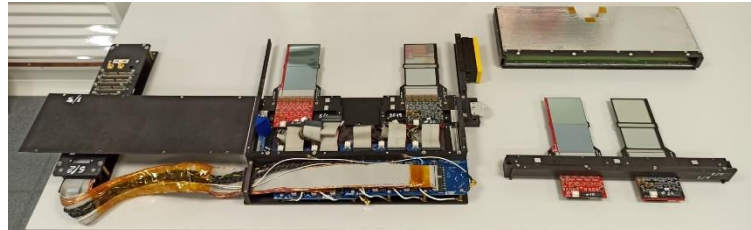


Bad zone
Chip #5

Module 17, β -source, 75V, sigma pedestal



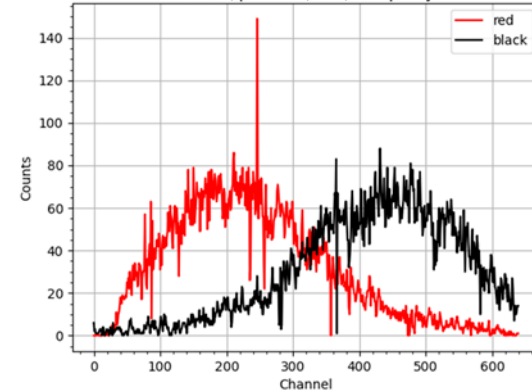
Before replacement



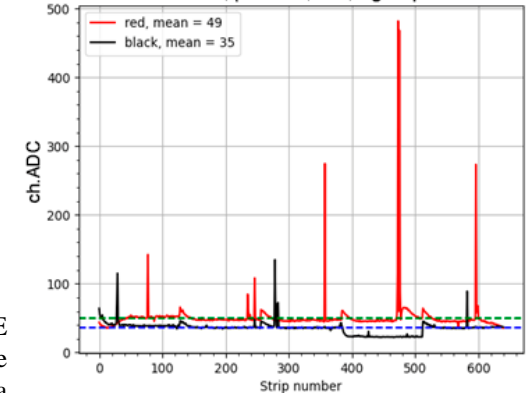
To eliminate the dead zones it was necessary to assemble a new FEE board completely, 5 ASICs were spent to eliminate each of defects. The old boards were disconnected from the modules and replaced with a new ones. Total: 9 new black boards (p+ strips) were built, 45 VATAGP 7.2 ASICs were used (30 spare ASICs available).

Mod #17

Module 17, β -source, 75V, occupancy

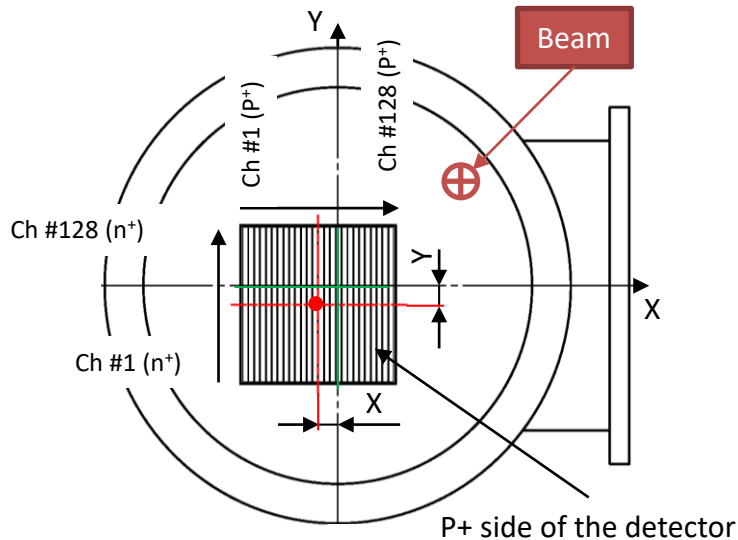


Module 17, β -source, 75V, sigma pedestal

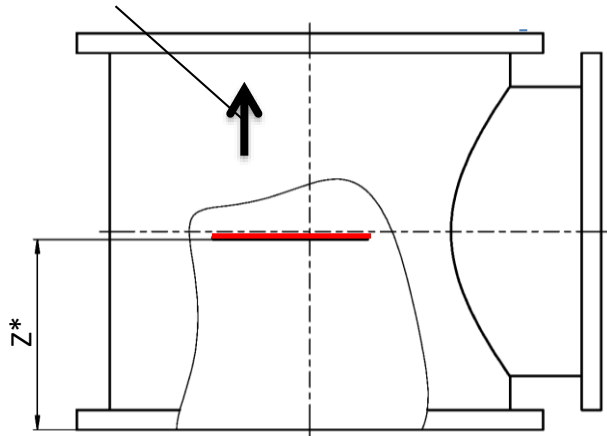


After replacement

Position of double-coordinate Si-detectors relative to the axis of the ion guide



Beam directions



*Distance between the flange surface and the detector surface.
Detector rotation in the coordinate plane no more than 0.5°

Beam tracker detector center coordinates relative to the ion guide axis (mm)

#	X	Y	Z*
#1	0.0	0.9	94.7
#2	2.7	-0.3	96.9
#3 (Al)	0.4	0.1	94.9

Strip pitch in the detector: 0.45 mm

Number of strips: 128x128

Thickness: 175 μm

Size: 63 x 63 mm²

Beam profilometer detector center coordinates relative to the ion guide axis (mm)

#	X	Y	Z*
#1 (electric)	-1.3 ± 0.1	0.7 ± 0.1	99.7
#2 (pneumatic)	-2.7 ± 0.5	1.4 ± 0.2	100.7

Strip pitch in the detector: 1.87 mm

Number of strips : 32x32

Thickness: 175 μm

Size: 60 x 60 mm²

New beam profilometer (64×64) strips for heavy ions (Xe, Au, Bi)

На рис. результаты тестов-2022 с альфа источником Si – профилометра:

- такую же картину мы хотели получить при работе с пучком, но не удалось из-за наложений при «медленной» электронике (ИС-VA163);

- оба профилометра были убраны в положение «парковка» и не использовались в сеансе;

- наши планы и действия – ведется новая разработка (С.Хабаров+О.Тарасов)

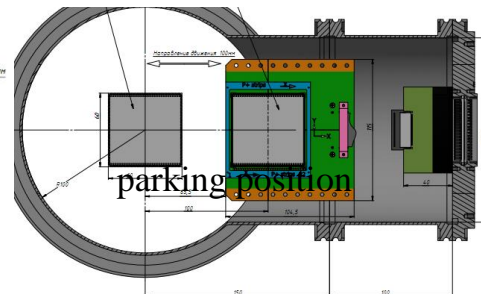
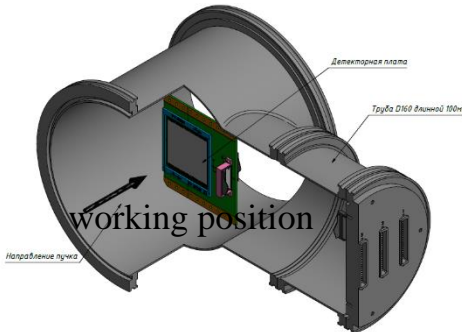
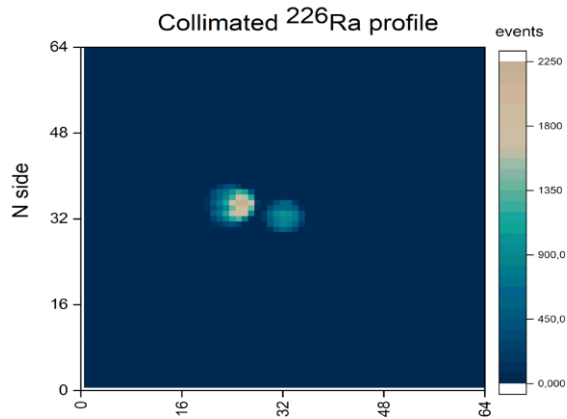
конструкции плоскости детектора (128x128) стрипов превращаем в (64x64) стрипа +

новая FEE на основе ИС HDR64/VA, чипы есть в наличии, детекторные платы

разработаны, изготовлены и готовы к сборке детекторов, FEE-PCB в разработке

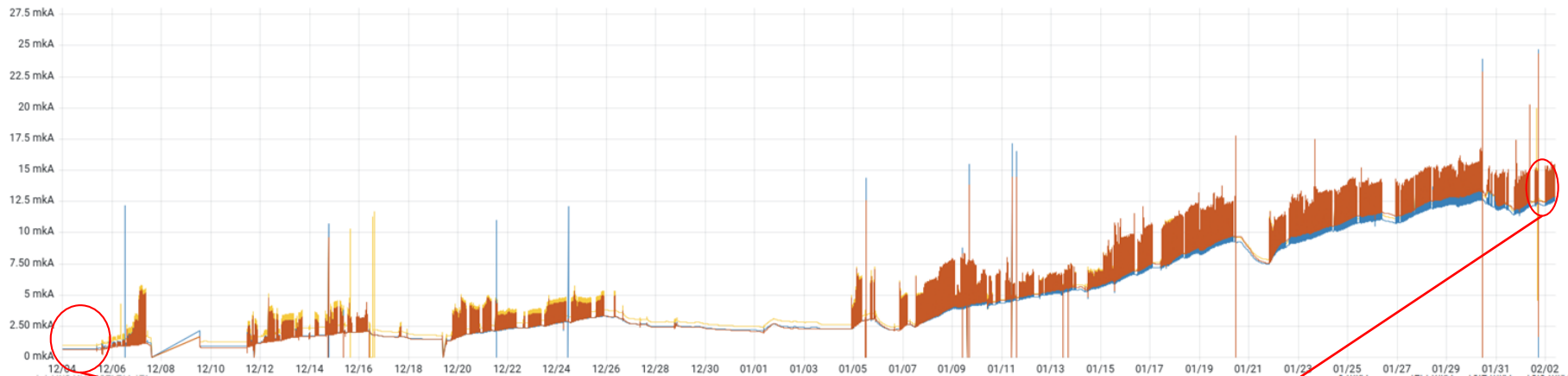
(С.Хабаров), детекторы есть и тестируются (Е.Стрелецкая+Ю.Копылов), готовность –

осень_23.



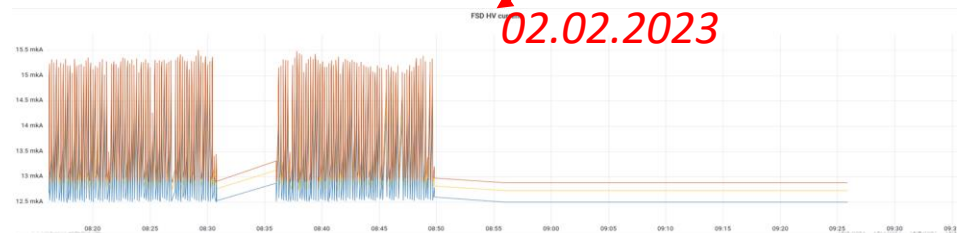
- **detector:** DSSD, (32p⁺×32n⁺), strips pitch = 1.8 mm, thickness (Si) -175 μm, active area (60 × 60) mm²;
- **mechanical design:** the plane of the profilometer is automatically removed from the beam zone to the parking position;
- **FEE:** for light (${}^6\text{C} \div {}_{18}\text{Ar}$) ions based on **VA163 + TA32cg2 (32 ch, dynamic range (DR): -750fC ÷ +750fC) desing in progress;**
- **current status:**
 - two vacuum stations with flanges and cable connectors are ready, Silicon Detectors assembled on PCBs and tested with alpha-source (5.5 MeV), autonomus (ADC+DAQ) subsystem ready;
 - for heavy (Kr ÷ Au) ions will be developed another version of the FEE with DR = ± 20 pC.

FSD HV current



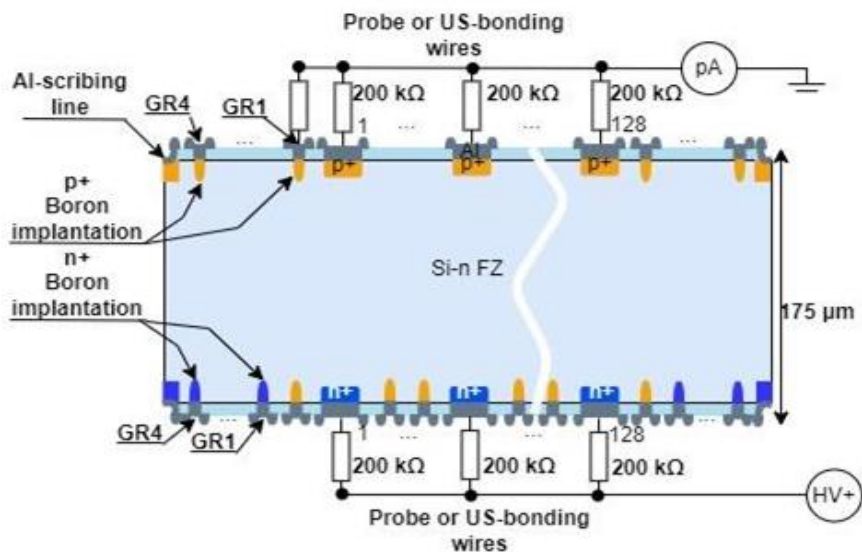
Начало сеанса- 06.12.2022

02.02.2023

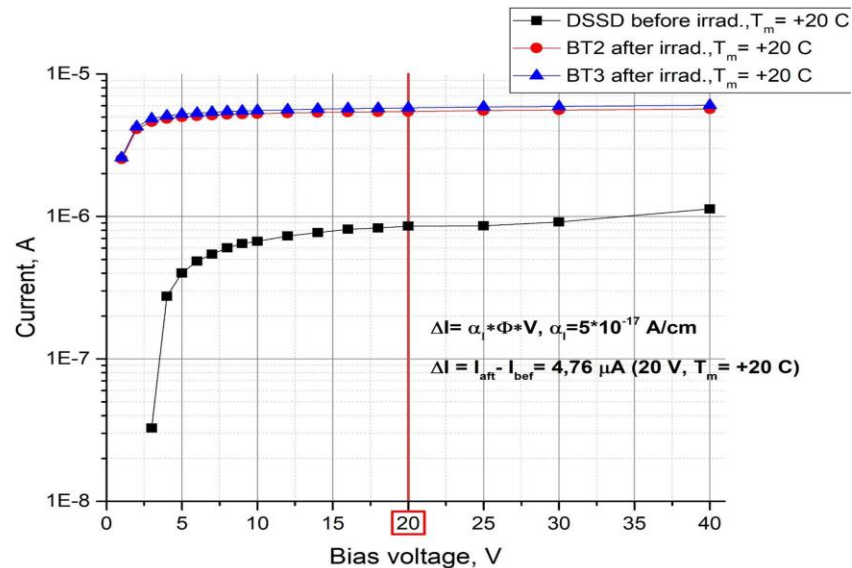


Токи детекторов ВТ(1÷3) в начале сеанса и по окончании сеанса:

- «подложка» это темновой ток, создаваемый радиационными дефектами ионов Хе;
- быстрая импульсная компонента это ток ионизации в течение сплюс.



(a)



(б)

Рис.5. Схема измерений (а) темнового тока двухстороннего стрипового Si-детектора и ВАХ (б) до и после сеанса.

Формула определения эквивалентного 1МэВ флюенса нейтронов по повреждениям кремния $\Delta I = \alpha_1 \cdot \Phi \cdot V$

где: α_1 – токовая константа повреждений кремния равняется 5×10^{-17} А/см, при $+20^\circ\text{C}$ для нейтронов с энергией 1 МэВ и физически означает приращение тока в кремниевом детекторе объемом 1см^3 от прохождения одного нейтрона (1 МэВ), $\Phi, \text{см}^{-2}$ – флюенс нейтронов, $V, \text{см}^3$ – объем детектора.

	I_{d0} , мкА/+20 В/+22.5°C (04.12.2022 начало сеанса)	$I_{d(\phi)}$, мкА/+20 В/+26.8°C (2.02.2023 окончание сеанса)	$\Delta I = I_{d(\phi)} - I_{d0} = \alpha I \cdot \Phi \cdot V$, мкА (приведённое к +20 °C)
BT1	0.965	12.7	4.76
BT2	0.692	12.5	4.6
BT3	0.626	12.9	4.93
	Эквивалентный флюенс нейтронов 1 МэВ, см⁻² (измерен по радиационным повреждениям Si)	Флюенс ¹²⁸Xe, см⁻² расчет через NIEL, $K(^{128}\text{Xe}/\text{нейтрон } 1\text{МэВ})=276$	Число ядер ¹²⁸Xe, прошедших за сеанс через Si-детекторы BT(1÷3), $S_a=37 \text{ см}^2$
BT1	5.117e+12	1.854e+10	6.899e+11
BT2	4.945e+12	1.792e+10	6.667e+11
BT3	5.300e+12	1.920e+10	7.145e+11
Среднее	5.117e+12	1.854e+10	6.899e+11