



Министерство образования и науки  
Российской Федерации  
Национальный исследовательский ядерный  
университет «МИФИ»  
ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ

Тема выпускной работы: Влияние облучения мягким рентгеновским излучением на элементный приповерхностный состав полупроводника CdHgTe

Студент-дипломник: Дашевская А.А.

Руководитель проекта: д.ф.-м.н. профессор Ананьин О.Б.

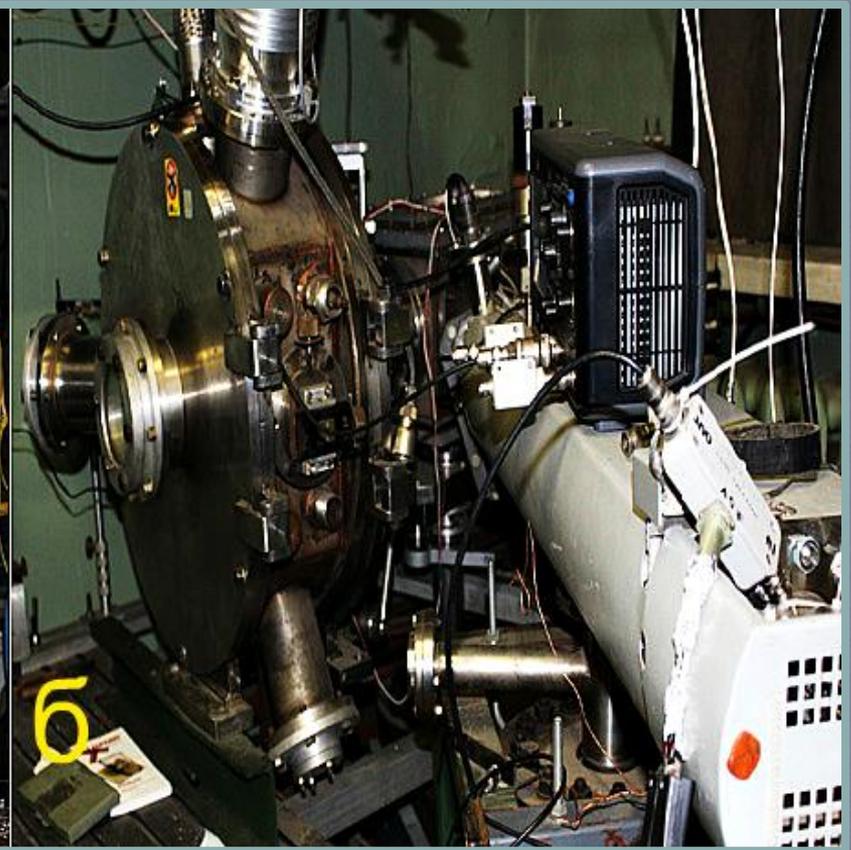
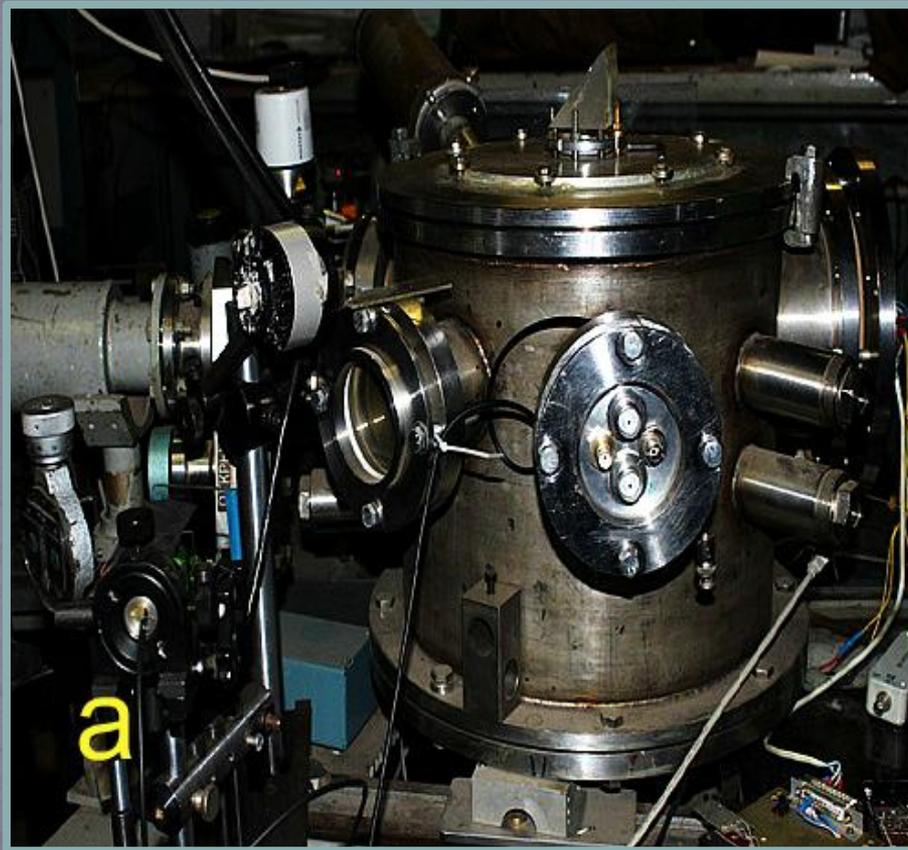


## Цель работы

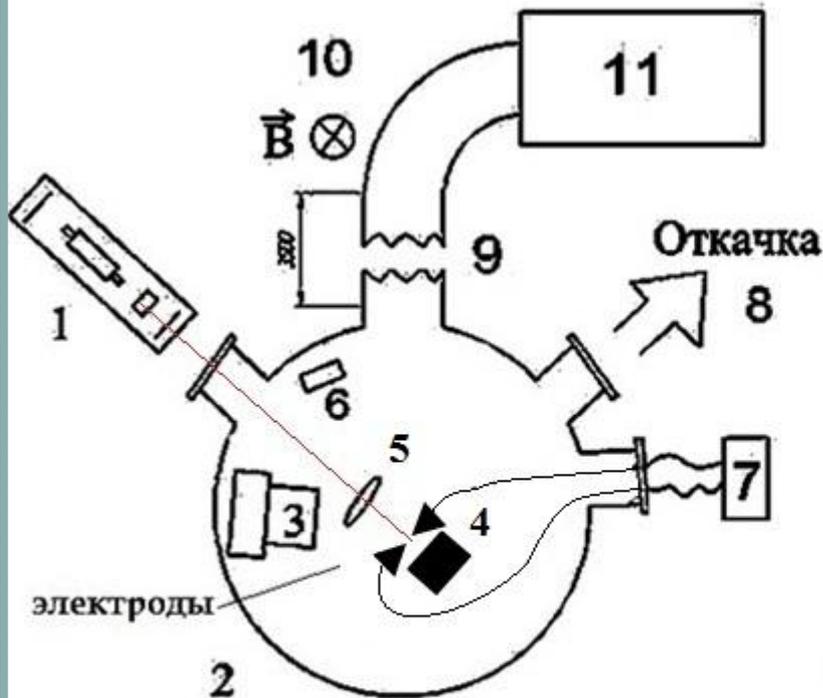
- изучение методом масс-спектрометрии влияния МРИ на элементный состав приповерхностных слоев полупроводника.



# Фотографии источников МРИ: а – Источник МРИ - 1, б – источник МРИ-2



# Источник МРИ - 1



- 1-лазерная система
- 2-корпус
- 3-камера обскура
- 4-мишенный узел с образцом
- 5-линза
- 6-рентгеновский фотоприемник
- 7-источник высоковольтного напряжения
- 8-система вакуумной откачки
- 9-времяпролетная часть
- 10-источник магнитного поля
- 11-система анализа частиц

Параметры МРИ:

$$\tau \leq 20, \text{ нс}$$

$$P_E \leq 0.3 * 10^{-3}, \frac{\text{Дж}}{\text{см}^2}$$

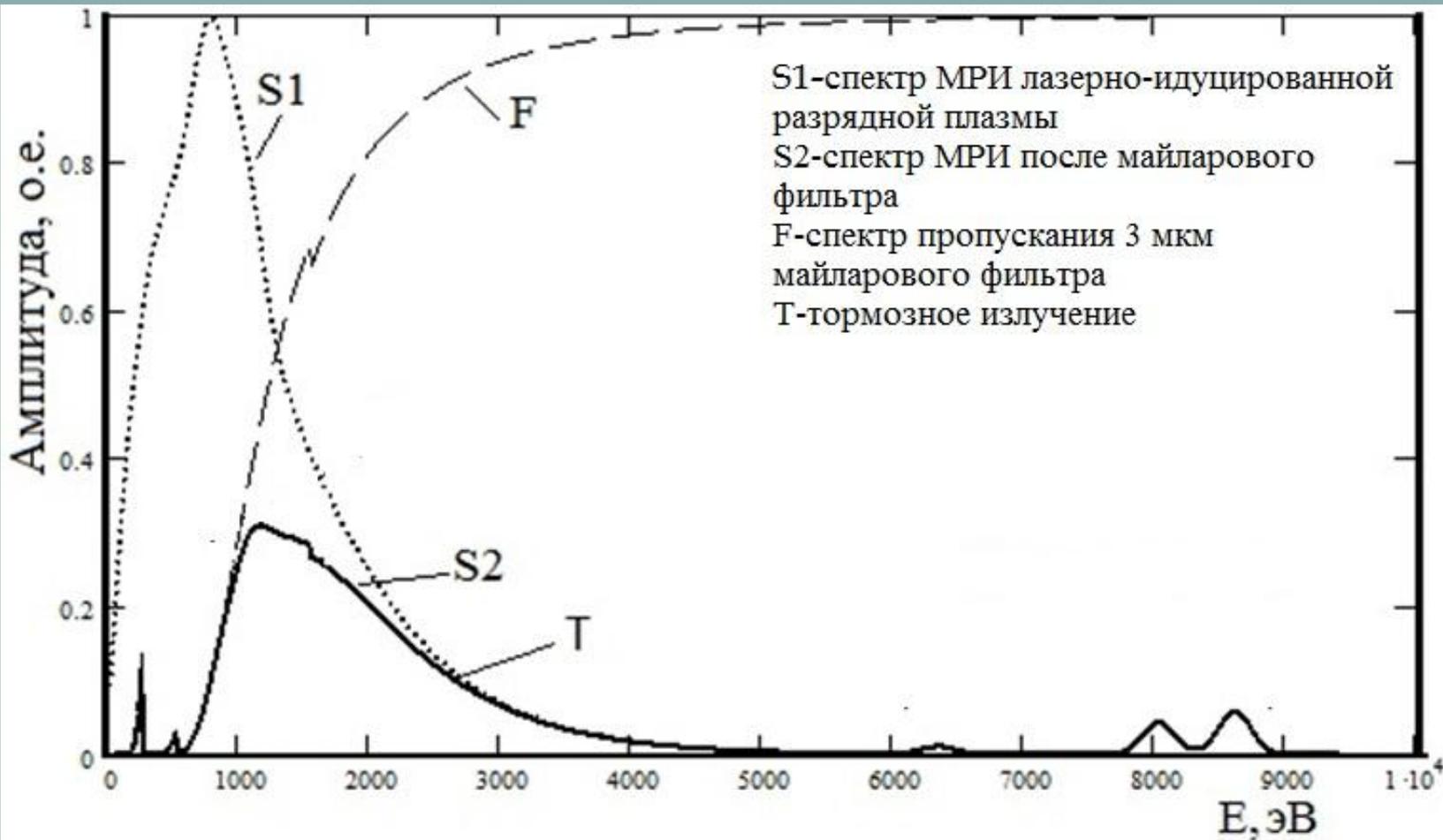
$$E_\lambda = 100 \div 12000, \text{ эВ}$$

$$E_\lambda = 1 \div 130, \text{ \AA}$$

$$\nu = 1, \text{ Гц}$$



# Примерный вид спектра рентгеновского излучения вакуумной искры

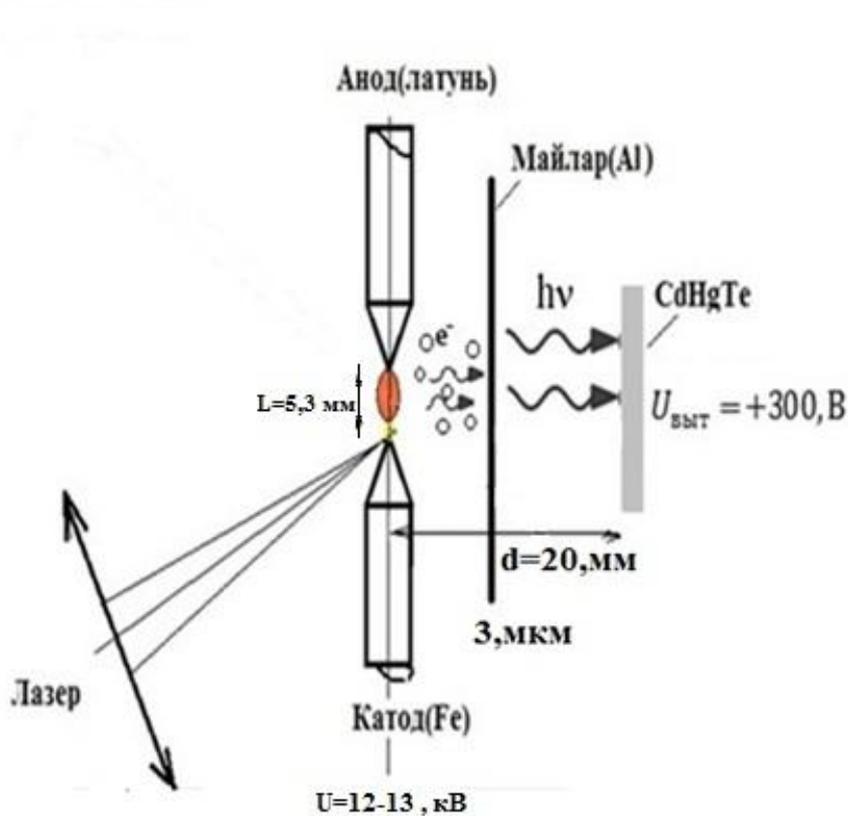




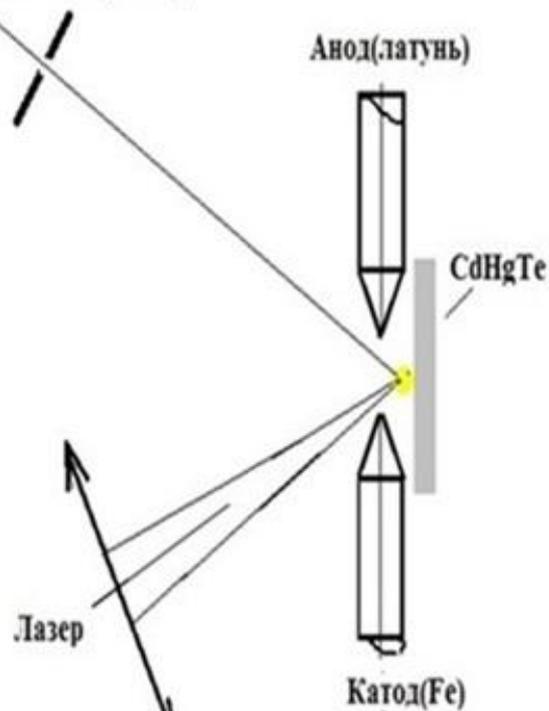
# Преобразование источника для проведения эксперимента

облучение

масс-спектрометрия

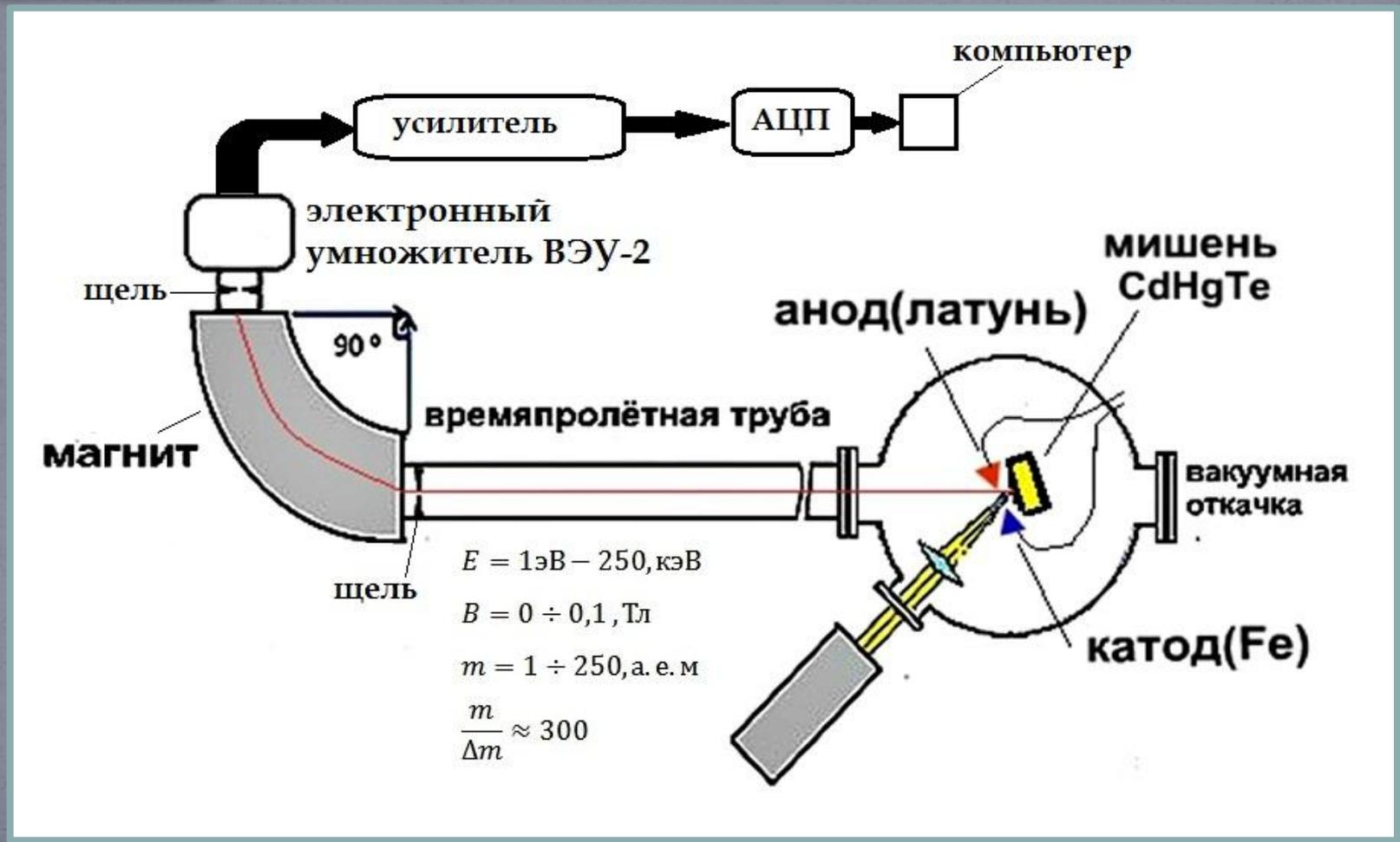


Масс-спектрометр



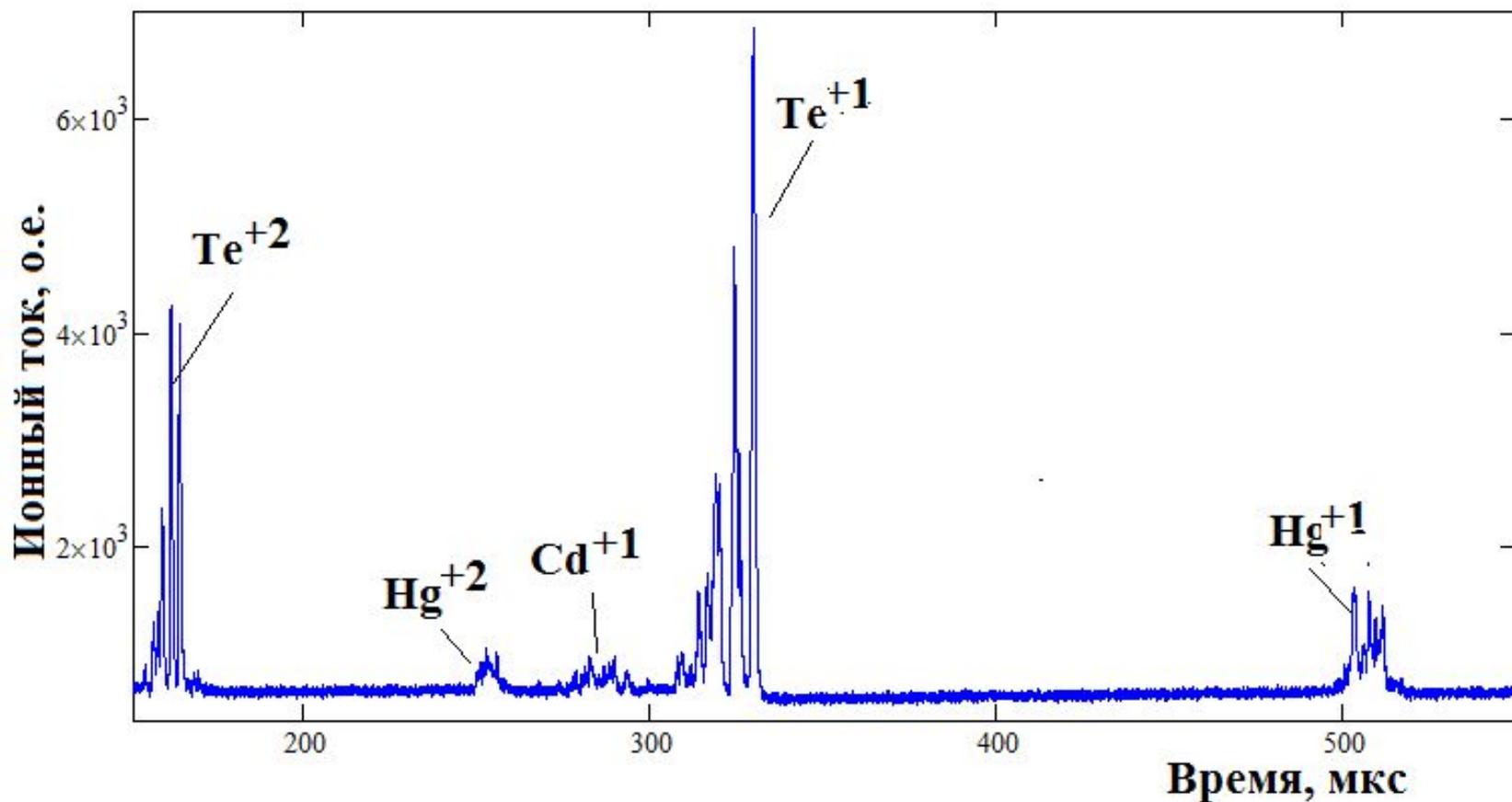


# Схема масс-спектрометра





# Типовой масс-спектр образца CdHgTe





# Работа в Mathcad 2000

$$\underline{T1\_Hg+4\_} \quad S1_0 := \sum_{i=2000}^{2150} (Q_{i,0} - 0)$$

$$S1_1 := \sum_{i=2000}^{2150} (N_{i,0} - 0)$$

$$S1_2 := \sum_{i=2000}^{2150} (N1_{i,0} - 0)$$

$$\underline{T2\_Hg+2\_} \quad S2_0 := \sum_{i=4000}^{4200} (Q_{i,0} + 16)$$

$$S2_1 := \sum_{i=4000}^{4200} (N_{i,0} + 16)$$

$$S2_2 := \sum_{i=4000}^{4200} (N1_{i,0} + 16)$$

$$\underline{T3\_Hg+1\_} \quad S3_0 := \sum_{i=8000}^{8500} (Q_{i,0} + 134)$$

$$S3_1 := \sum_{i=8000}^{8500} (N_{i,0} + 110)$$

$$S3_2 := \sum_{i=8000}^{8500} (N1_{i,0} + 110)$$

$$\underline{T4\_Cd+1\_} \quad Cd_0 := \sum_{i=4460}^{4700} (Q_{i,0} + 16)$$

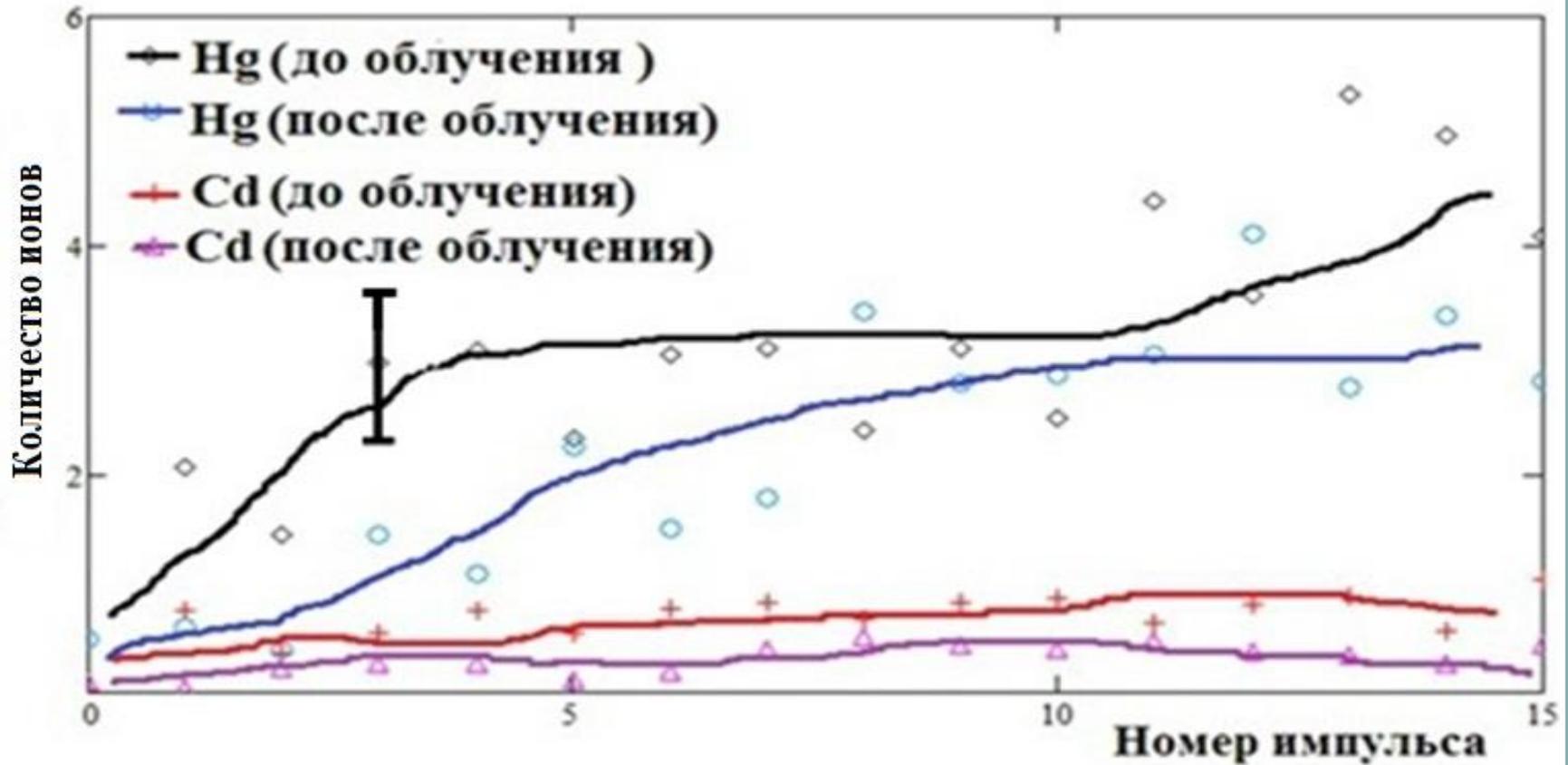
$$Cd_1 := \sum_{i=4460}^{4700} (N_{i,0} + 16)$$

$$Cd_2 := \sum_{i=4460}^{4700} (N1_{i,0} + 16)$$

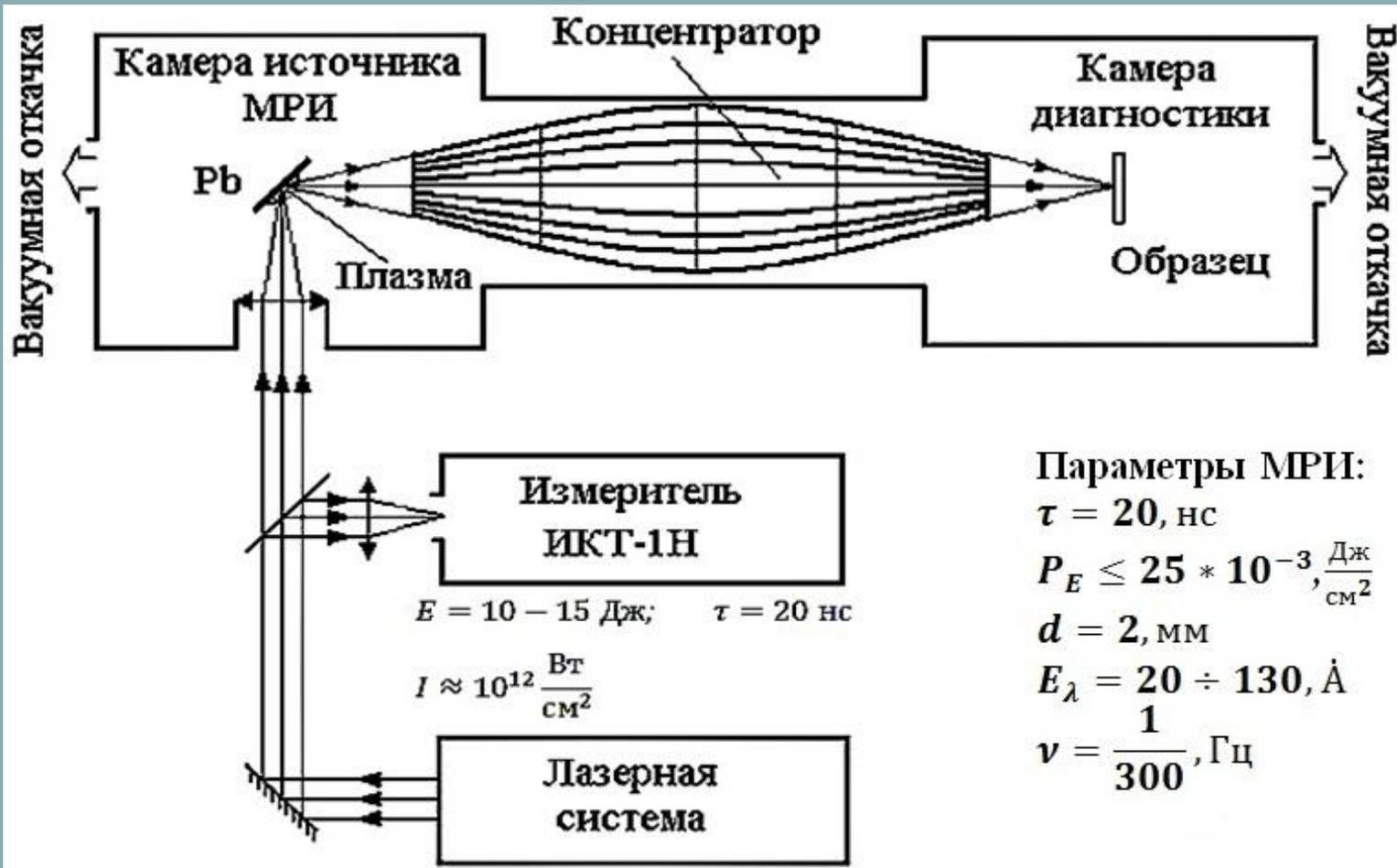
$$S := S2 + S3 + S1$$



# Результаты измерения облученных и необлученных образцов CdHgTe

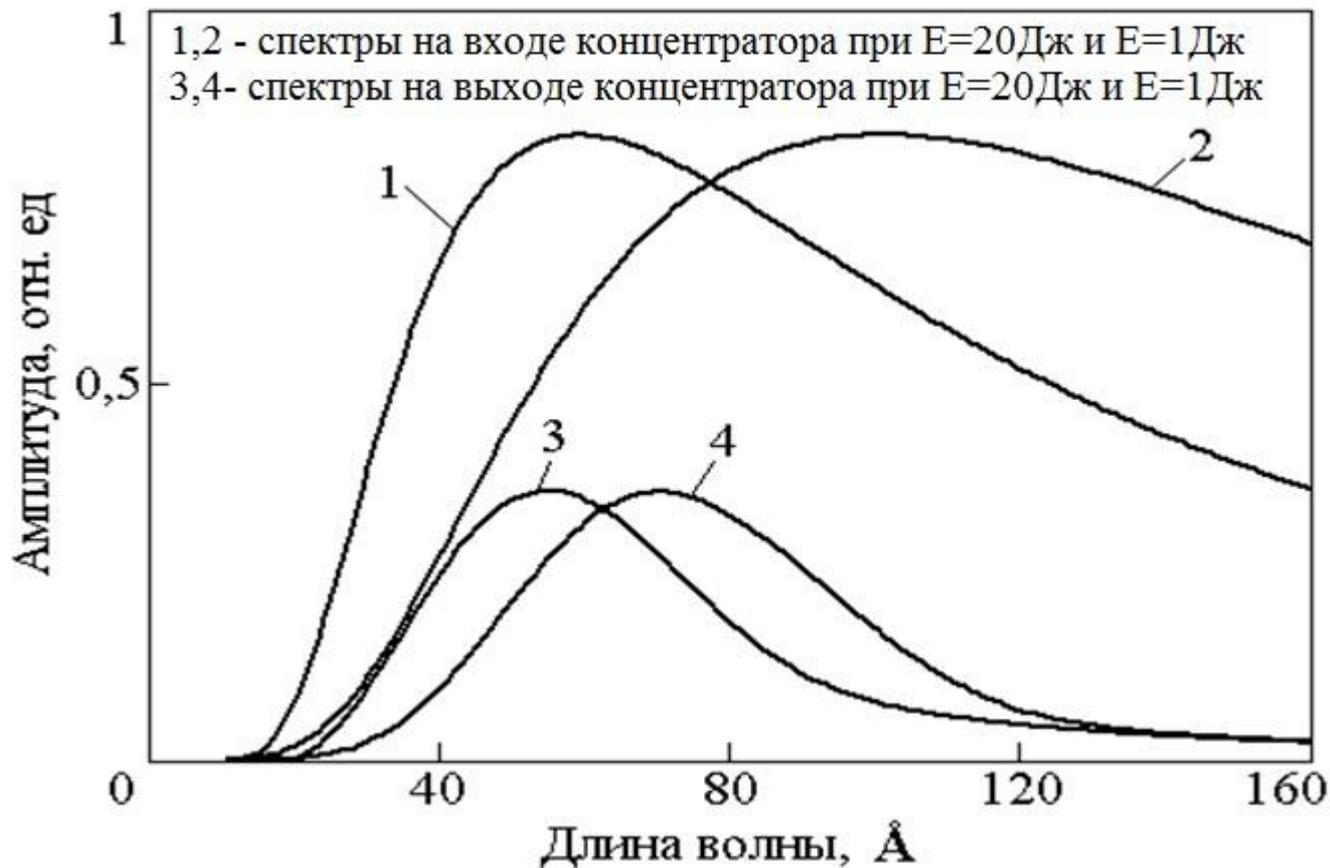


# Схема источника МРИ-2





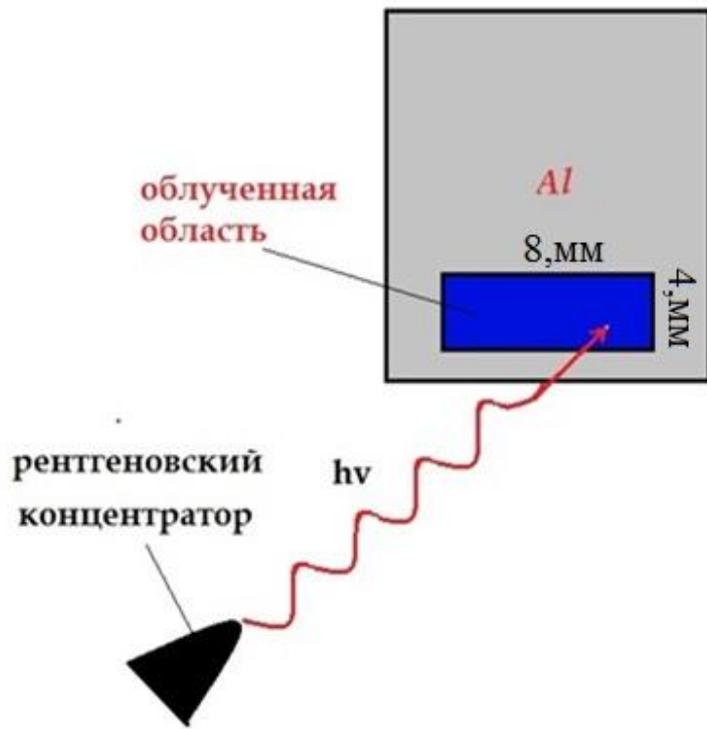
# Спектр излучения на входе и выходе рентгеновского концентратора



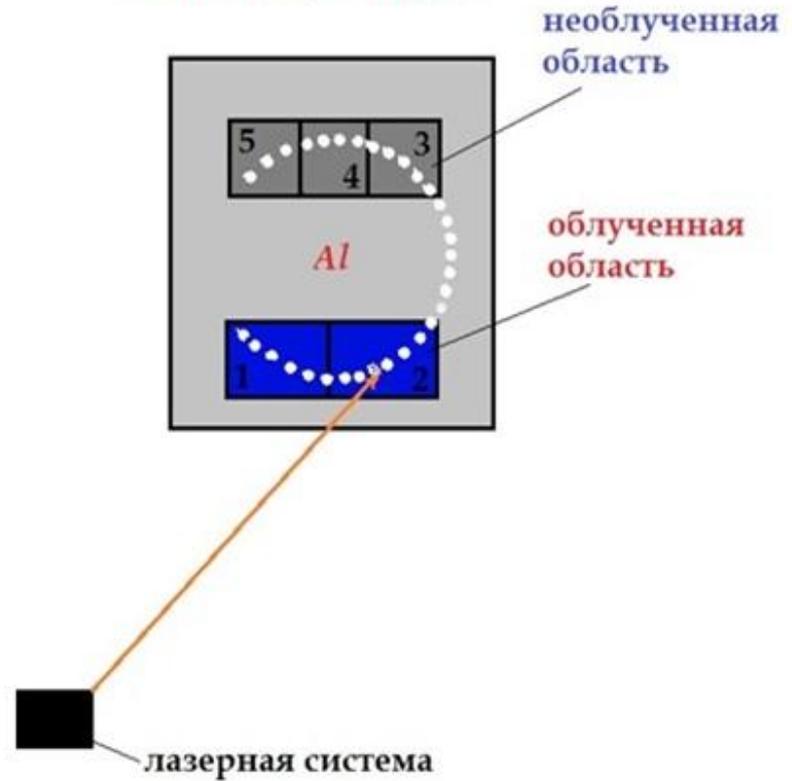


# Процесс облучения и получение масс-спектров

Облучение

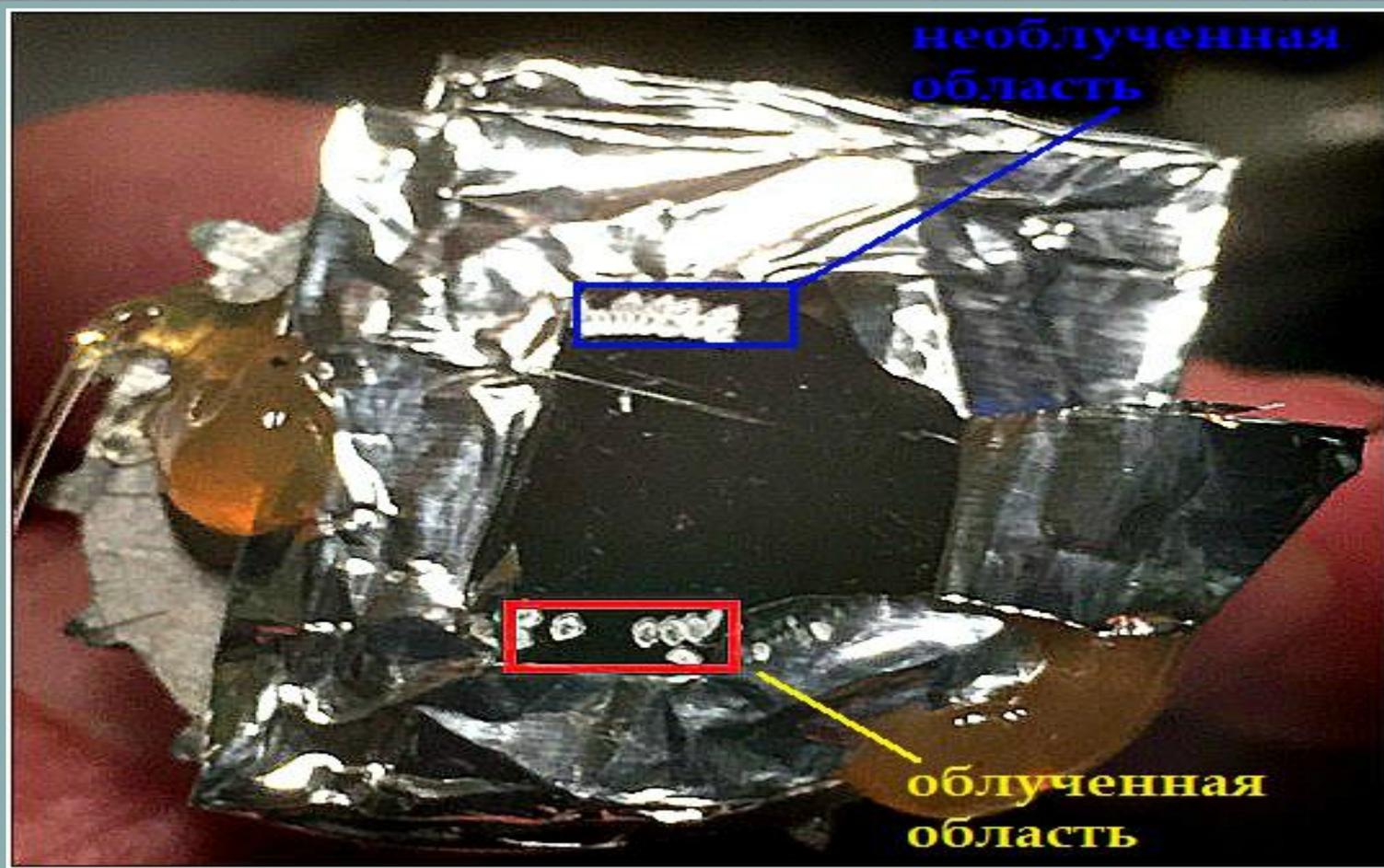


Масс-спектрометрия



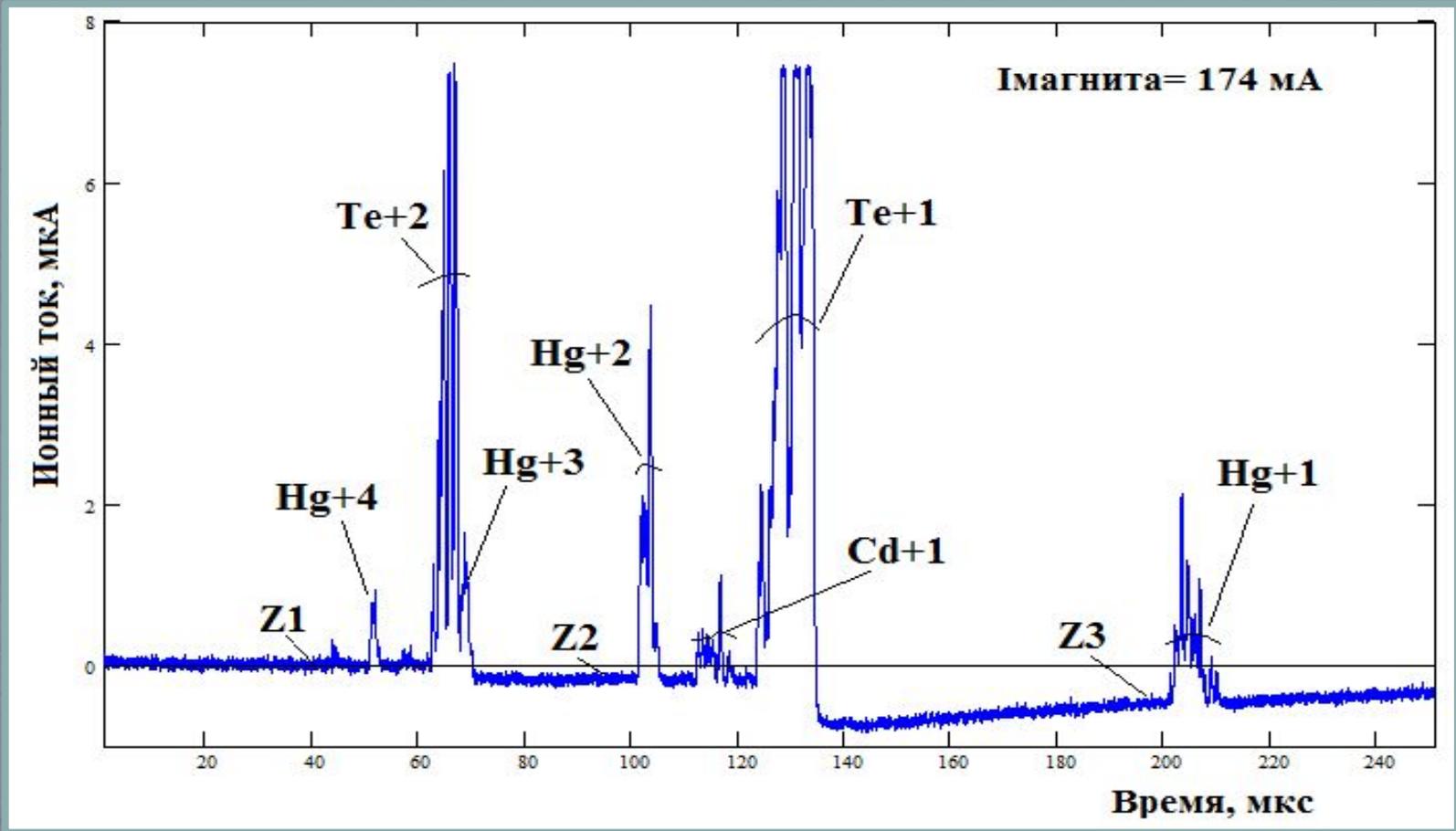


# Образец $\text{CdHgTe}$ размещенный на насадке для масс-спектрального анализа



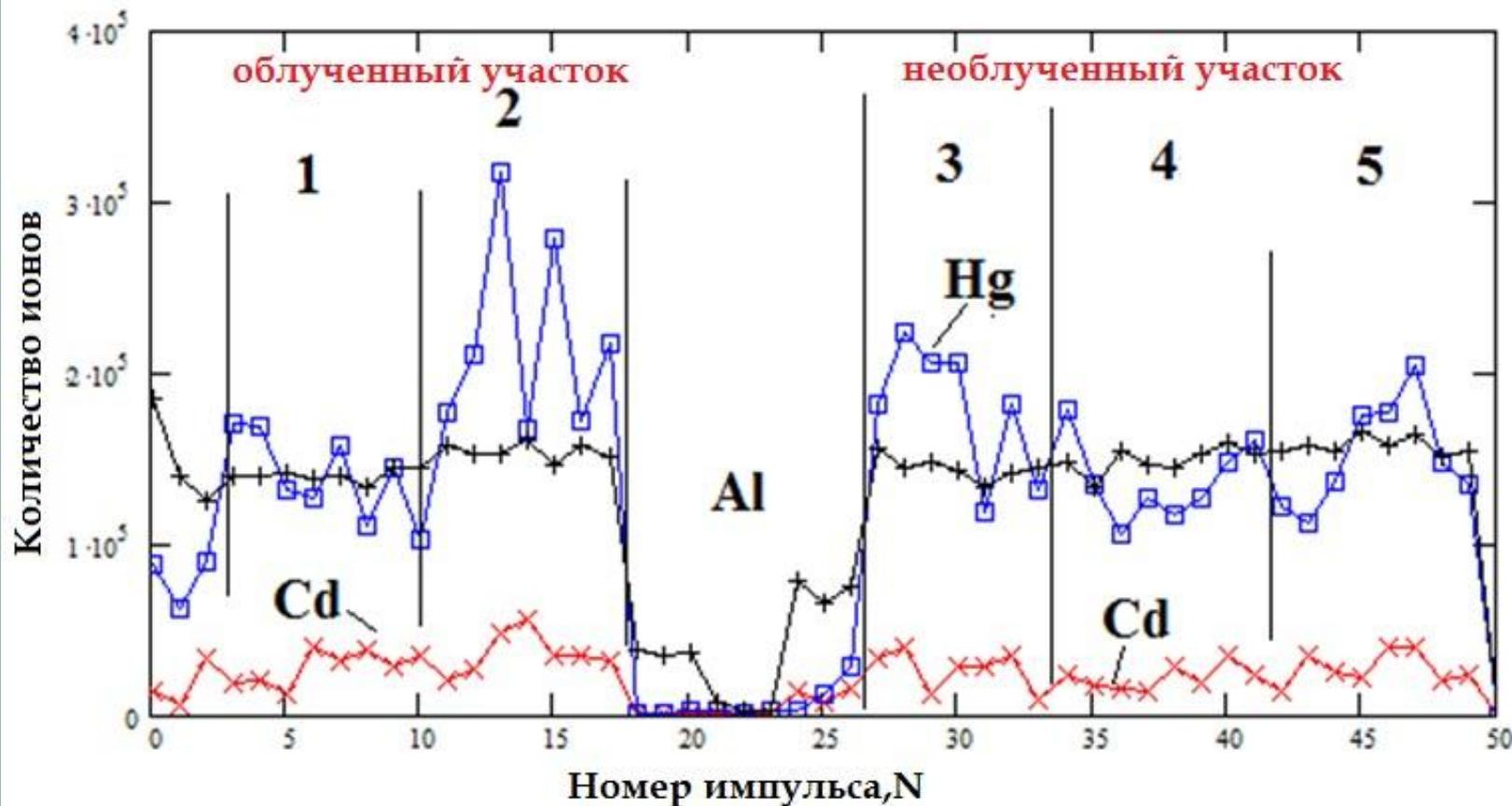


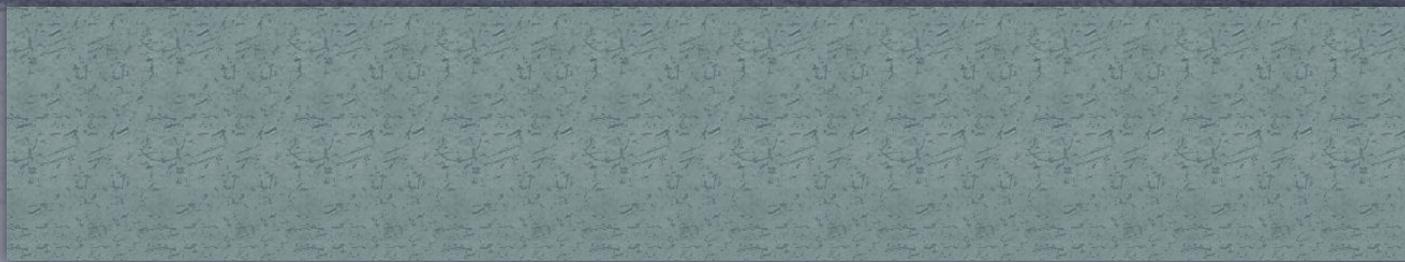
# Типовой масс-спектр





# Результат обработки масс-спектров облученных и необлученных областей





$$S = \begin{pmatrix} 0.994 \\ 1.586 \\ 1.232 \\ 0.924 \\ 0.957 \end{pmatrix}$$

$$a := 0..4$$

$$MS = 1.027$$

$$MS := \frac{S_0 + S_2 + S_3 + S_4}{4}$$

$$Cd = \begin{pmatrix} 0.199 \\ 0.213 \\ 0.185 \\ 0.145 \\ 0.174 \end{pmatrix}$$

$$MCd := \frac{Cd_0 + Cd_2 + Cd_1 \cdot 1 + Cd_4}{4}$$

$$MCd = 0.193$$

$$dE := \frac{\left[ \sum_{a=0}^4 ((S_a - MS))^2 \right] - ((S_1 - MS))^2}{4}$$

$$dECd := \frac{\left[ \sum_{a=0}^4 ((Cd_a - MCd))^2 \right] - ((Cd_3 - MCd))^2}{4}$$

$$disE := \sqrt{dE}$$

$$disECd := \sqrt{dECd}$$

$$disE = 0.121$$

$$disECd = 0.015$$

	Необлученные области	Облученная область
Выход $Hg$	1.03+/-0.12	1.59+/-0.12
Выход $Cd$	0.19+/-0.02	0.21+/-0.02



# Выводы

- Разработаны и апробированы методики облучения полупроводника интенсивным МРИ вакуумно-искрового разряда
- На источнике МРИ - 1 облучены изучаемые образцы, количественно определен элементный состав приповерхностных слоев
- Освоена методика работы на времяпролетном масс-спектрометре
- Разработаны и апробированы методики облучения полупроводника интенсивным МРИ лазерно-плазменного источника
- На источнике МРИ - 2 облучены изучаемые образцы, количественно определен элементный состав приповерхностных слоев
- Сделано предположение о механизме выхода ионов Hg с поверхности образца CdHgTe после облучения источником МРИ -1. Механизм изменения приповерхностного состава CdHgTe после облучения источником МРИ -2 на данный момент не понятен и требуется повторение данных экспериментов

**Спасибо за внимание**