



**ННГУ им Н.И. Лобачевского**

**СУНЦ ННГУ**

**Научно-образовательный центр «Физика твердотельных наноструктур»**

**СУНЦ ННГУ**

**Исследование влияния оптического излучения на резистивное переключение в индивидуальных филаментах мемристоров на основе оксидов металлов методом атомно-силовой микроскопии**

**Выполнил:**

**Руководитель: с.н.с. НОЦ ФТНС ННГУ**

**Антонов Дмитрий Александрович**

---

**Н. Новгород, 29 марта**

Электронные приборы, принцип действия которых основан на эффекте резистивного переключения (РП), получили название мемристоров [1]. Данные приборы считаются перспективными для применения в энергонезависимой компьютерной памяти - резистивная память с произвольным доступом (англ. ResistiveRandomAccessMemory, RRAM) [2], нейроморфных компьютерах [3] и др. Эффект РП заключается в бистабильном (мультистабильном) обратимом изменении электросопротивления изолирующего слоя под действием приложенного электрического напряжения соответствующей полярности [4].

Одним из общепринятых механизмов РП в мемристорных устройствах филаментарный механизм, заключающийся в образовании/разрушении, под действием электрического поля, в резистивном слое проводящих нитевидных каналов (филаментов), состоящих из цепочек вакансий по кислороду (conductivefilaments) либо из катионов металла активного электрода (conductivebridges) [5]. Наиболее широко изучены мемристоры на основе оксидов переходных металлов, как один из наиболее многообещающих материалов для создания энергонезависимой памяти следующего поколения, из-за отличных характеристик, таких как высокая скорость переключения, низкое энергопотребление и хорошая совместимость с современными технологиями создания микросхем. Проблему стабилизации параметров. Отдельно выделить работы по улучшению параметров РП с помощью оптического излучения. Управляемые светом мемристоры.

Вместе с тем, детали механизмов влияния света на РП в подобных мемристорах остаются слабо изученными. Сделать акцент на единичный филамент.

Метод атомно-силовой микроскопии (АСМ) с проводящим зондом является мощным инструментом изучения РП на микроскопическом уровне, поскольку он позволяет исследовать электрические свойства отдельных филаментов [6]. Так, например, в [7] данным методом были сформированы отдельные ферромагнитные филаменты в пленке  $ZrO_2$ , состоящие из атомов Ni, и изучены особенности резистивного переключения в них. В [8] данным методом был измерен диаметр филамента (2–10 nm), образованного атомами Fe в дислокации в монокристаллической пленке  $SrTiO_3$ , установлено соответствие филамента с ямкой травления дислокации, а также проведено переключение проводимости отдельного филамента.

**Цель работы:**

# Введение

Параметр	Flash NOR	Flash NAND	MRAM	PCM	FeRAM	ReRAM
Площадь ячейки Cell size	$10F^2$	$4F^2$	$20F^2 \rightarrow 8F^2$	$4F^2$	$22F^2$	$4F^2-8F^2$
Количество циклов перезаписи Number of write cycles	$10^5$	$10^4$	$>10^{12}$	$10^9$	$>10^{14}$	$10^{12}$
Затраты энергии на бит, пДж Energy per bit, pJ	100	100	2	6	0,03	0,1
Напряжение записи/перезаписи, В Write/rewrite voltage, V	10	15	1,8	3	1,3-3,3	1-1,5
Напряжение считывания, В Reading voltage, V	1,8	1,8	1,8	1,2	1,3-3,3	0,1-0,5
Время перезаписи, нс Overwriting time, ns	$10^3-10^7$	$10^5-10^6$	35	100	40	1-10
Время хранения, лет Storage time, years	10	10	$>10$	$>10$	10	$>10$

# Резистивное переключение в оксидах металлов 4

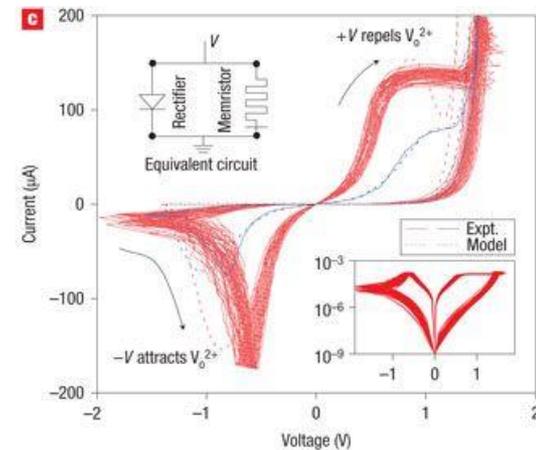
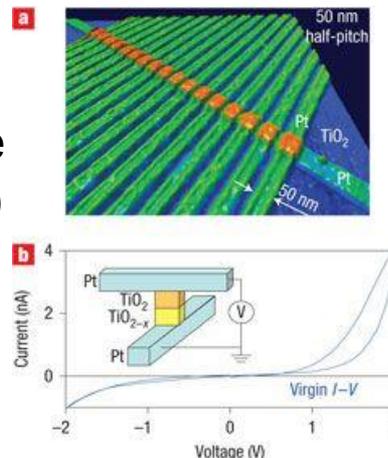
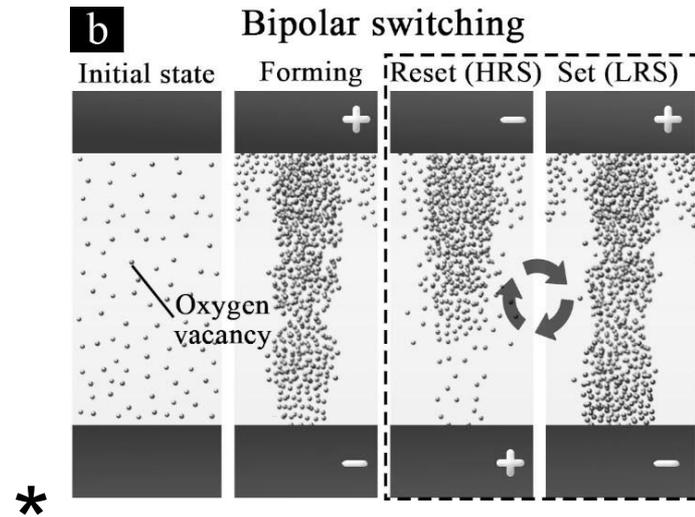
- ❖ Структуры: металл-диэлектрик-металл
- ❖ Толщина оксида  $\sim 10$  нм

□ **механизм переключения:** реакции окисления/ восстановления в тонкопленочных слоях оксидов переходных металлов

- ✓ дрейф вакансий кислорода под действием электрического поля
- ✓ Проводимость по филаментам

## Применение:

- устройства резистивной памяти с произвольным доступом (Resistive Random Access Memory – ReRAM)
- искусственные нейроморфные компьютерные системы



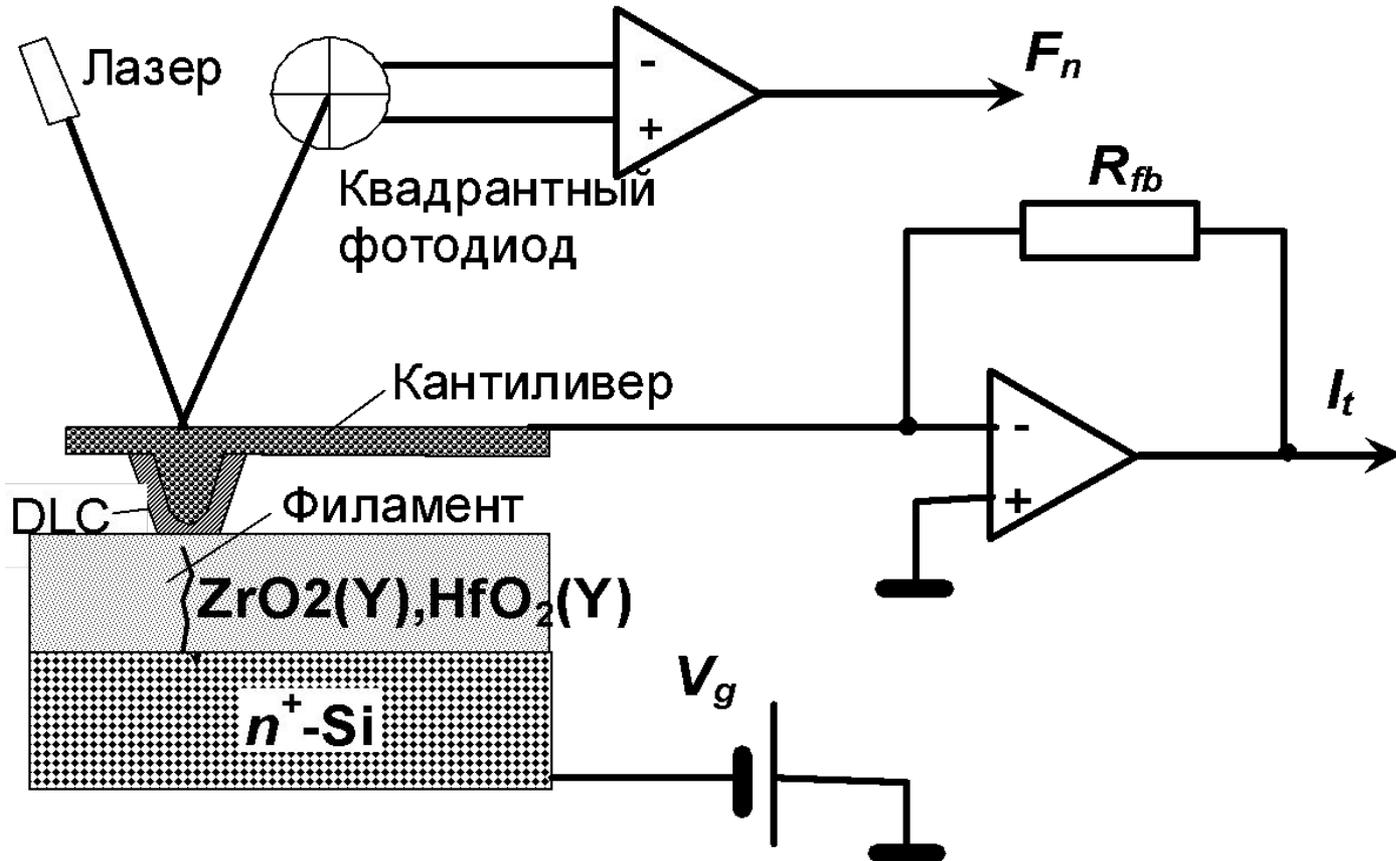
\*\*

\* <http://nanoplatfrom.by/home/21-nauka-kategoriya>

\*\* J Yang et al Nature Nano (2008)

# Влияние света на резистивные переключения в оксидах металлов

# Исследование резистивного переключения в оксидах металлов методом туннельной АСМ



- Метод атомно-силовой микроскопии (АСМ) с проводящим зондом является мощным инструментом изучения РП на микроскопическом уровне, поскольку он позволяет исследовать электрические свойства отдельных филаментов[6]. Так, например, в [7] данным методом были сформированы отдельные ферромагнитные филаменты в пленке  $ZrO_2$ , состоящие из атомов Ni, и изучены особенности резистивного переключения в них. В[8] данным методом был измерен диаметр филамента (2–10 nm), образованного атомами Fe в дислокации в монокристаллической пленке  $SrTiO_3$ , установлено соответствие филамента с ямкой травления дислокации, а также проведено переключение проводимости отдельного филамента.

# Цели и задачи

**Цель работы: Исследование влияния оптического излучения видимого диапазона на резистивное переключение в индивидуальных филаментах мемристоров на основе  $ZrO_2(Y)$ ,  $HfO_2(Y)$  методом атомно-силовой микроскопии**

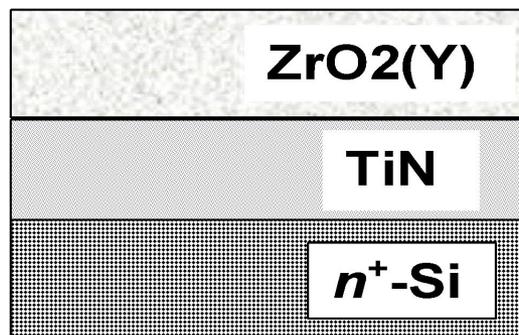
## **Задачи работы:**

- анализ литературы по тематике работы
- получение и обработка экспериментальных данных:
  - ✓ Участие в проведении экспериментов и обсуждении их результатов.
  - ✓ Определение и построение гистограмм распределения основных параметров резистивного переключения ( $V_{set}$ ,  $V_{reset}$ ,  $I_{on}/I_{off}$ ) в мемристорных структурах  $ZrO_2(Y)$ ,  $HfO_2(Y)$  .

# Методика эксперимента

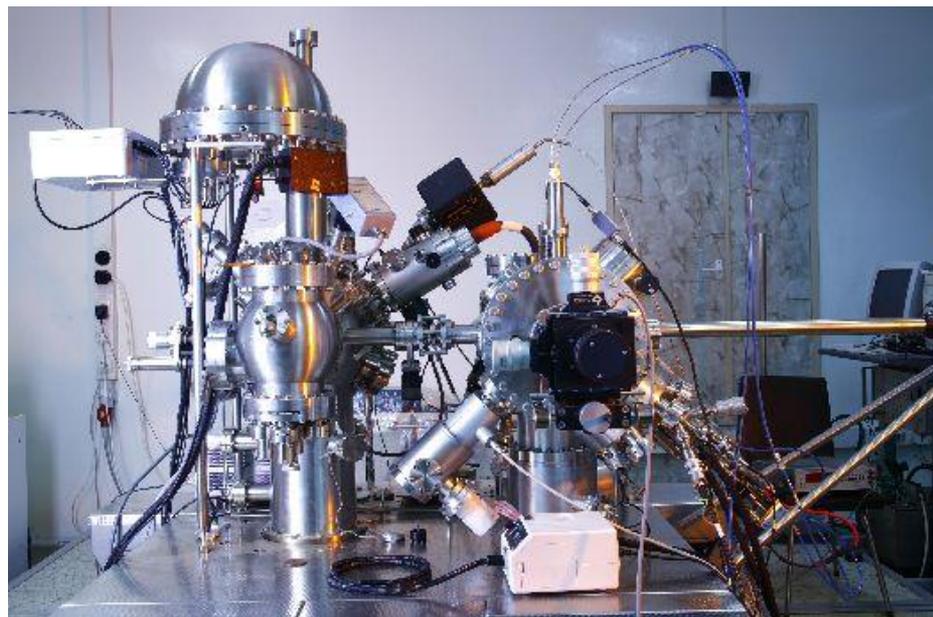
Образцы для исследований:

*Si/TiN/ZrO<sub>2</sub> (Y)*



Высокочастотное магнетронное распыление спечённых порошковых мишеней ZrO<sub>2</sub>—Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (молярная доля Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> составляла  $\approx 0,12$ ),  $T_{\text{подл}} \approx 300 \text{ }^\circ\text{C}$

Методика исследований: туннельная атомно-силовая микроскопия

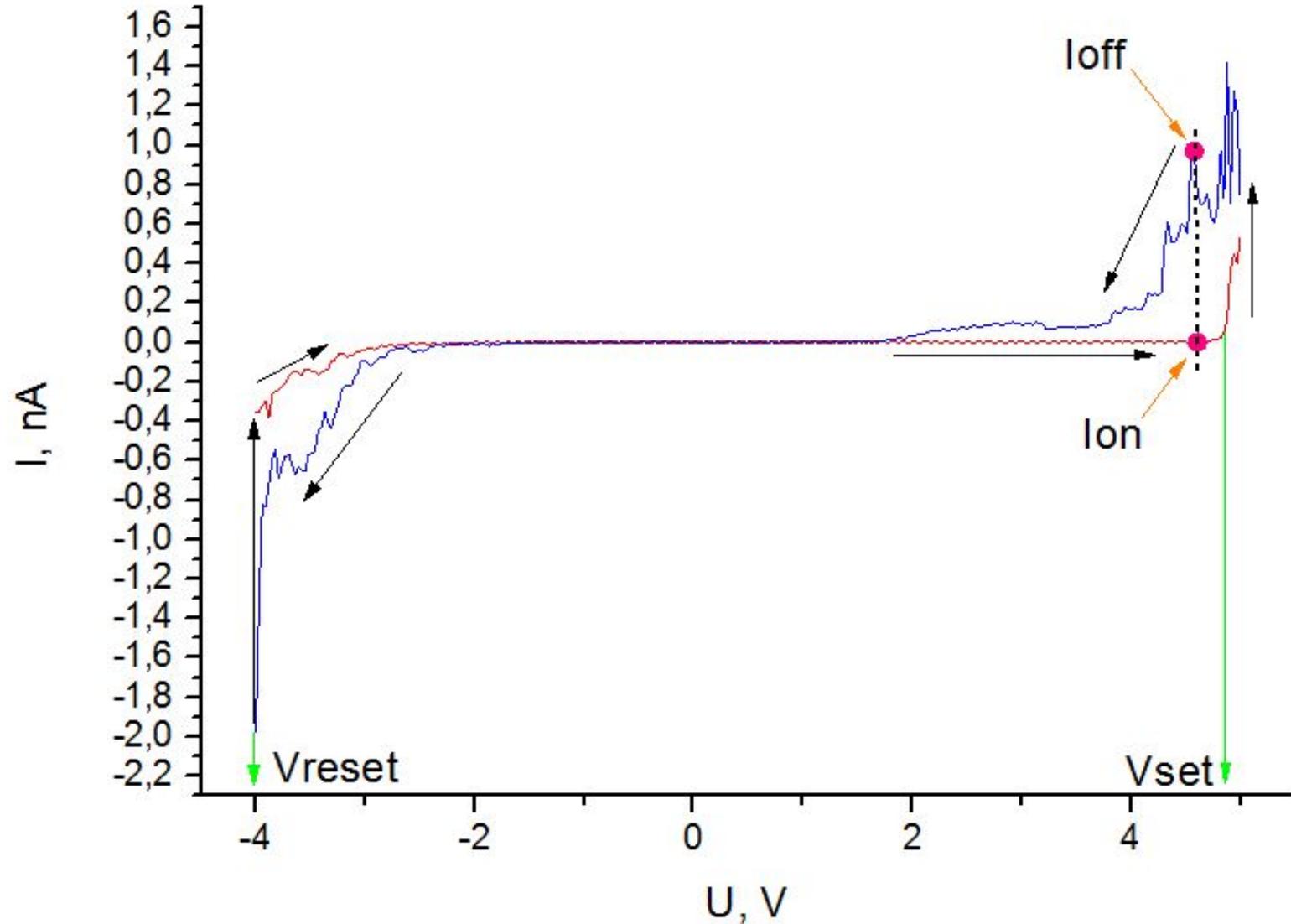


- Omicron<sup>®</sup> UHV AFM/STM LF1
- Omicron<sup>®</sup> MultiProbe<sup>™</sup> RM UHV system
- Давление в системе  $\sim 10^{-10}$  Torr, 300 K

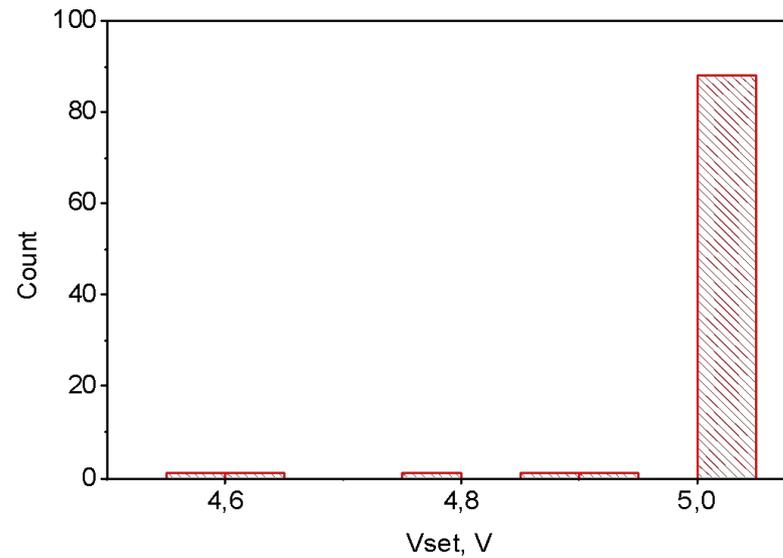
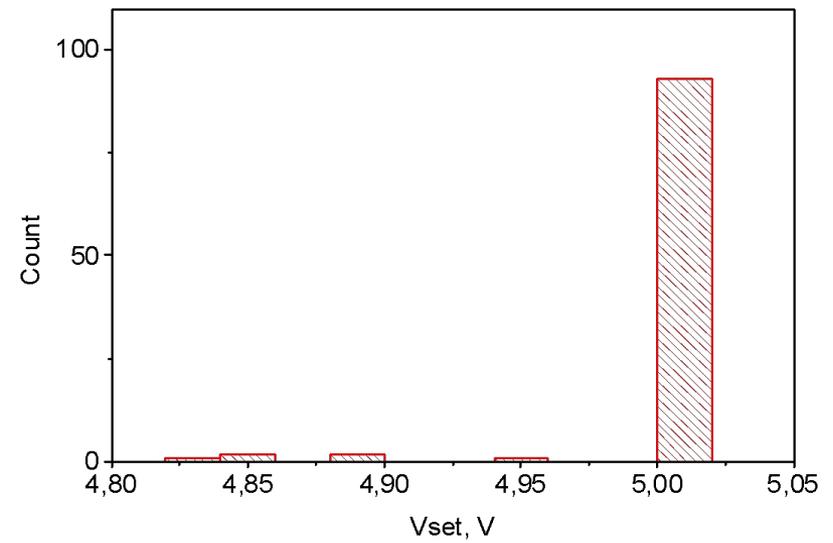
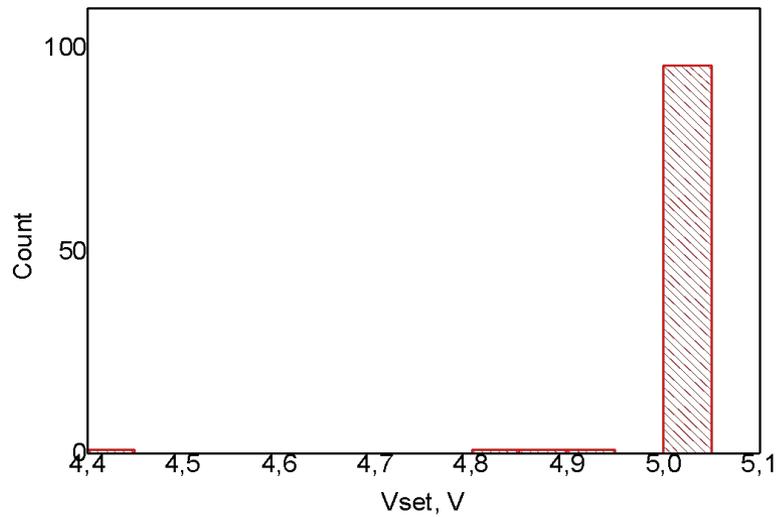
Зонды марки: NT MDT<sup>®</sup> NSG -11\_DCP с алмазоподобным покрытием  $R_p = 70 \text{ нм}$

# Методика обработки экспериментальных

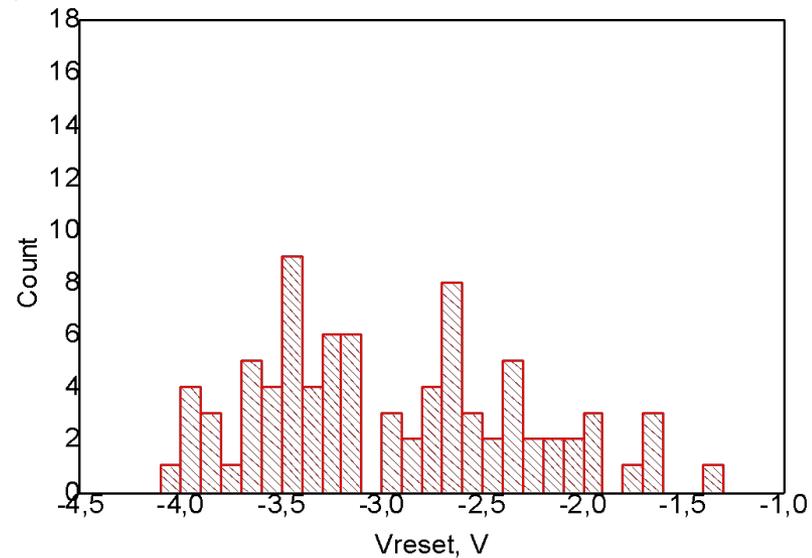
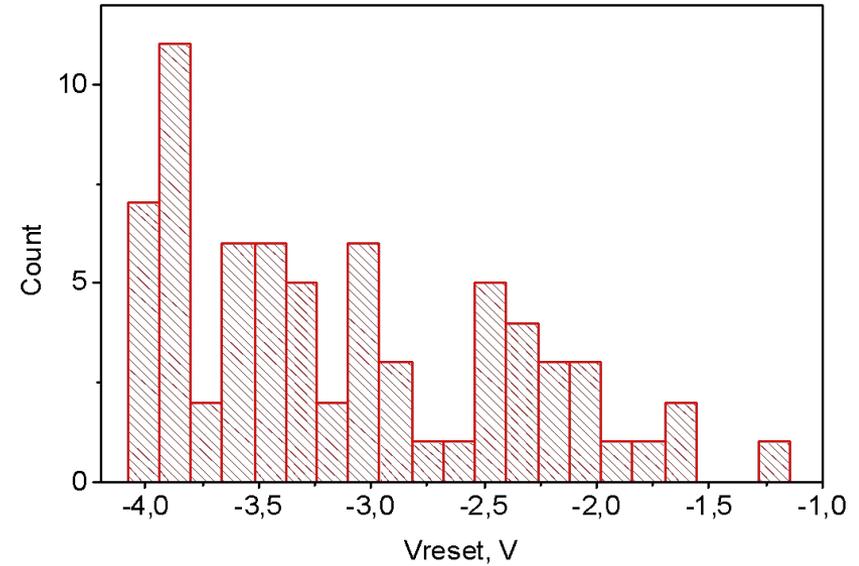
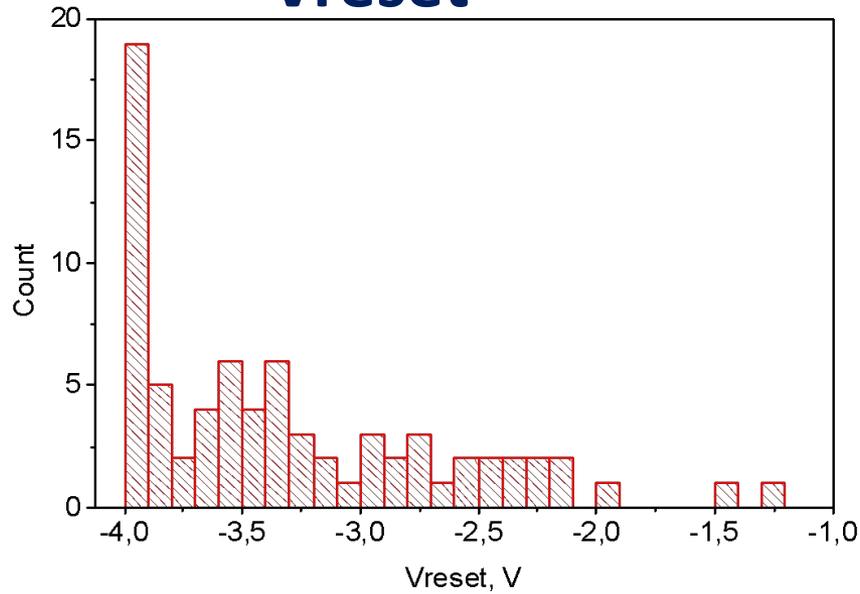
данных



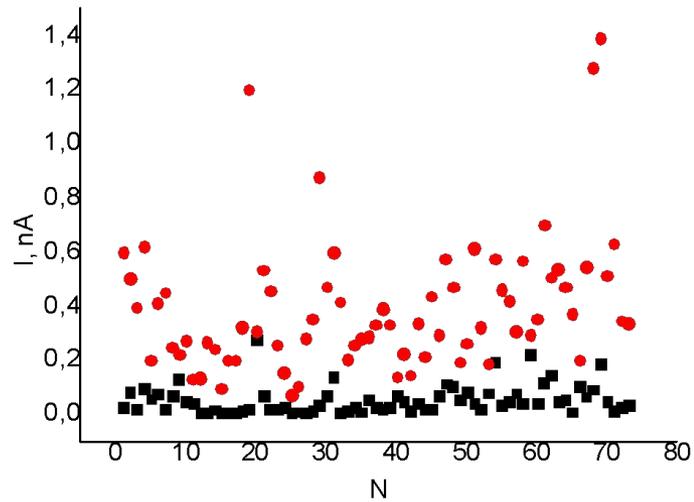
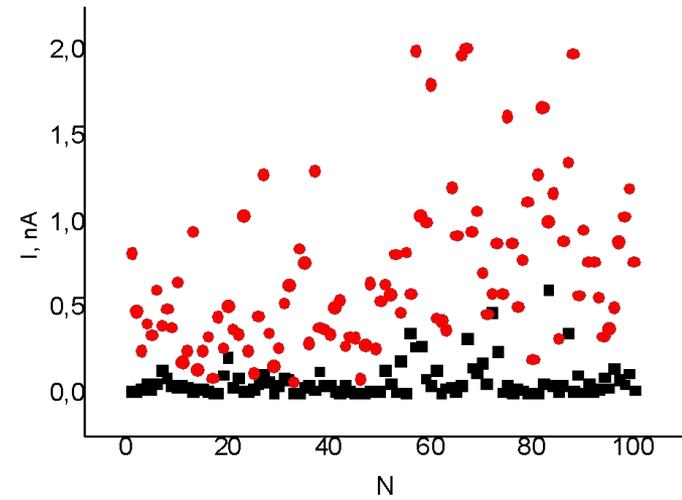
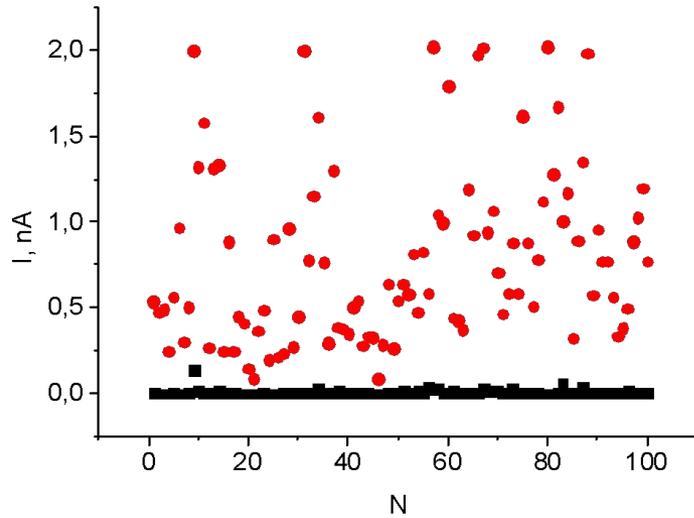
# Гистограммы распределения Vset



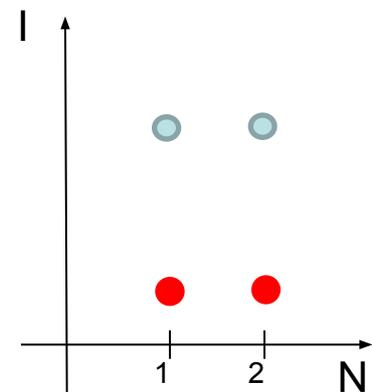
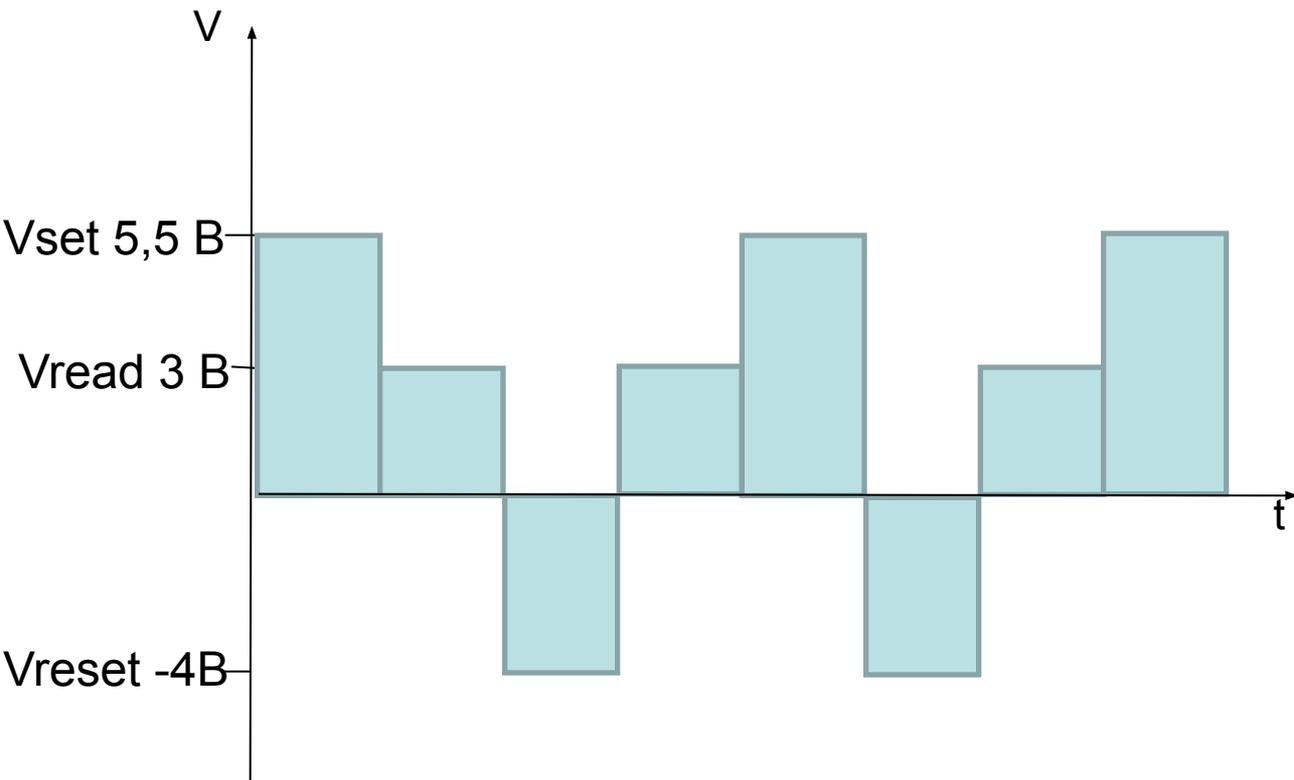
# Гистограммы распределения Vreset



# Диаграммы стабильности

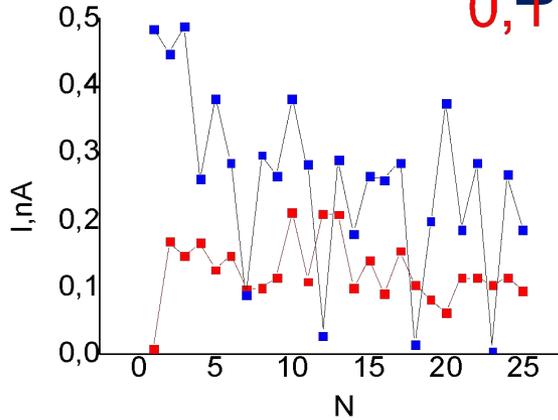


# Протокол переключения

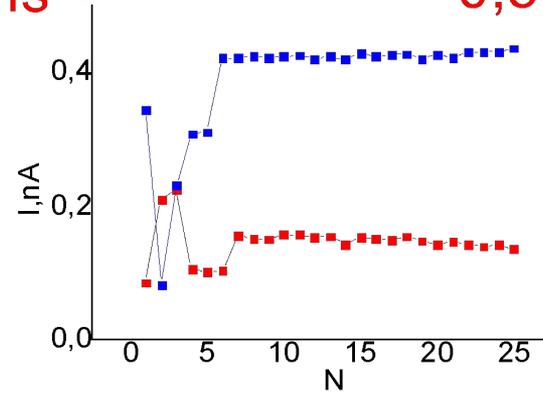


# Диаграммы стабильности виртуального мемристора при разных временах воздействия полем.

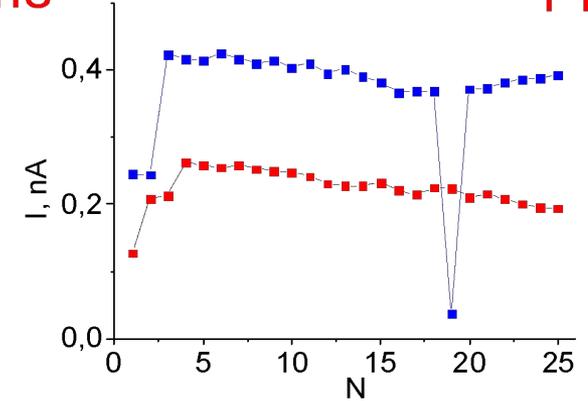
0,1 ms



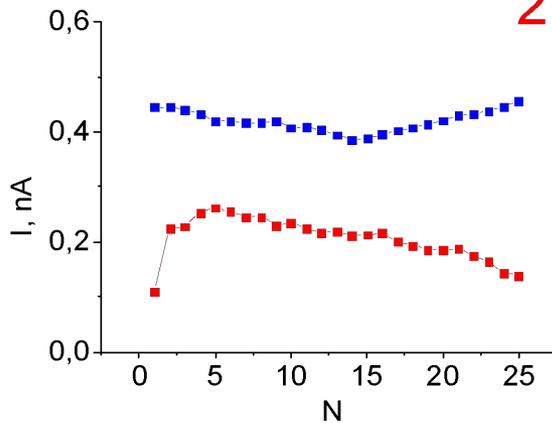
0,5 ms



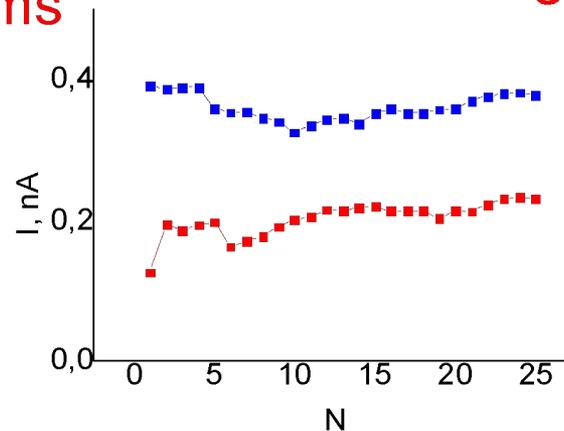
1 ms



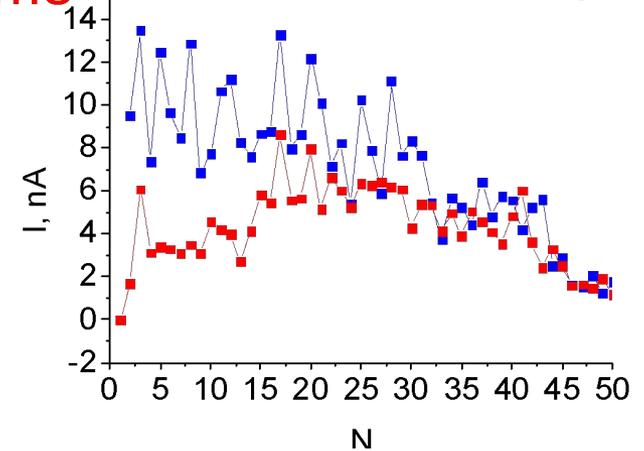
2 ms



3 ms

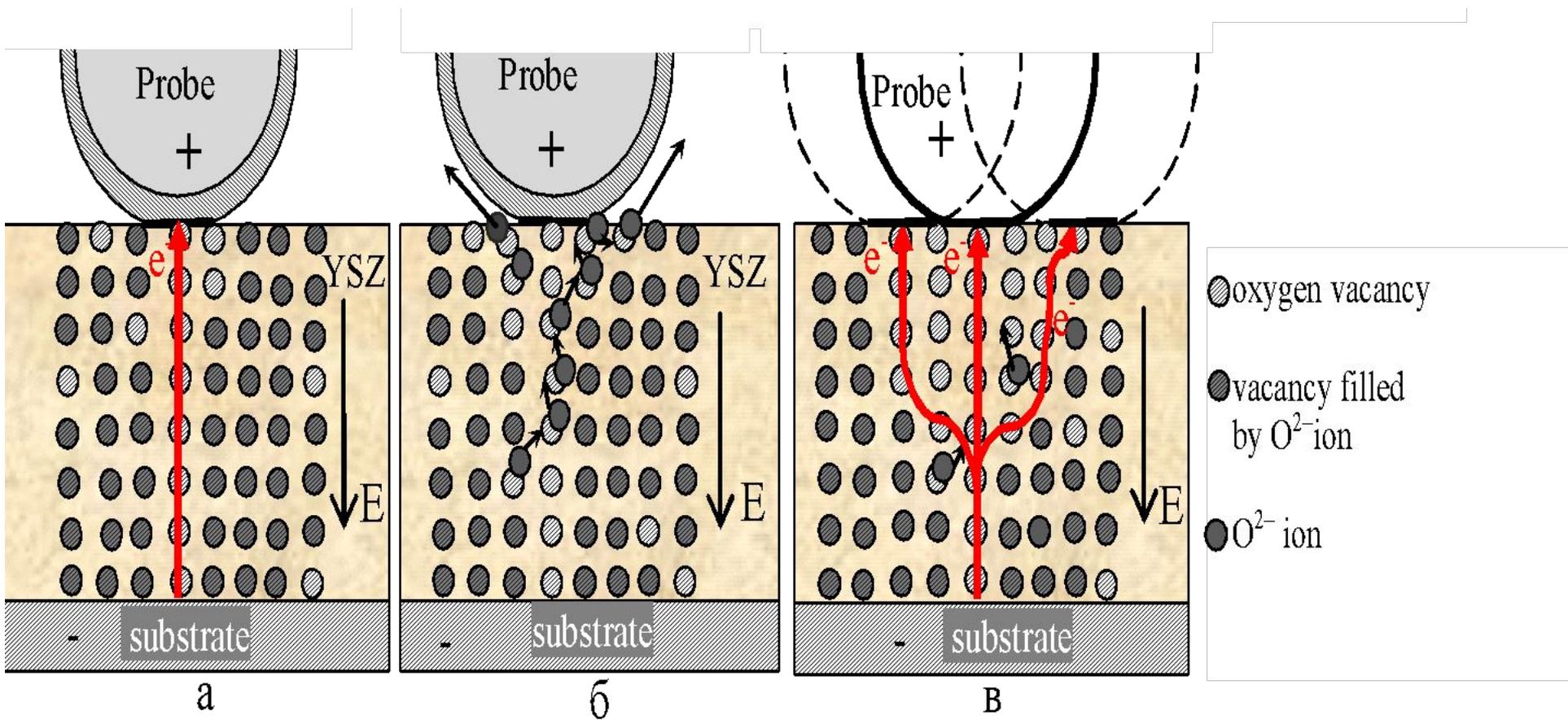


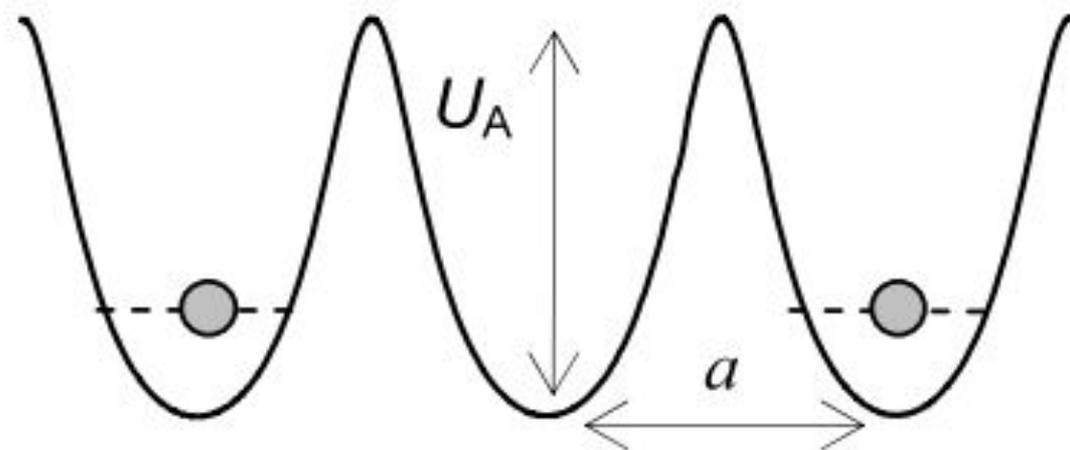
10 ms



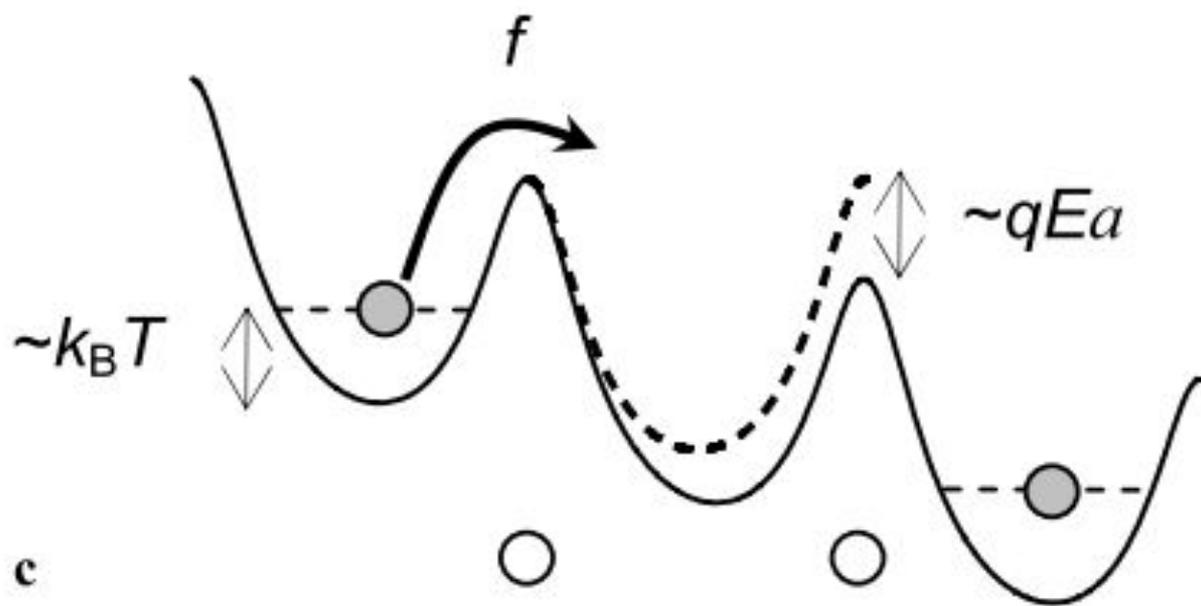
## Выводы

- Определены основные параметры резистивного переключения виртуального мемристора на основе структуры Si/TiN/ZrO<sub>2</sub>(Y).  
 $V_{set}=5,5$  В;  $V_{reset} = 4,5$  В;  $R_{off}/R_{on} = 8-10$ .
  - Построены диаграммы надежности виртуального мемристора в зависимости от времени воздействия полем при переключении. Показано, что наибольшая стабильность переключений наблюдается при времени воздействия полем от 0,5-3 мс.
-

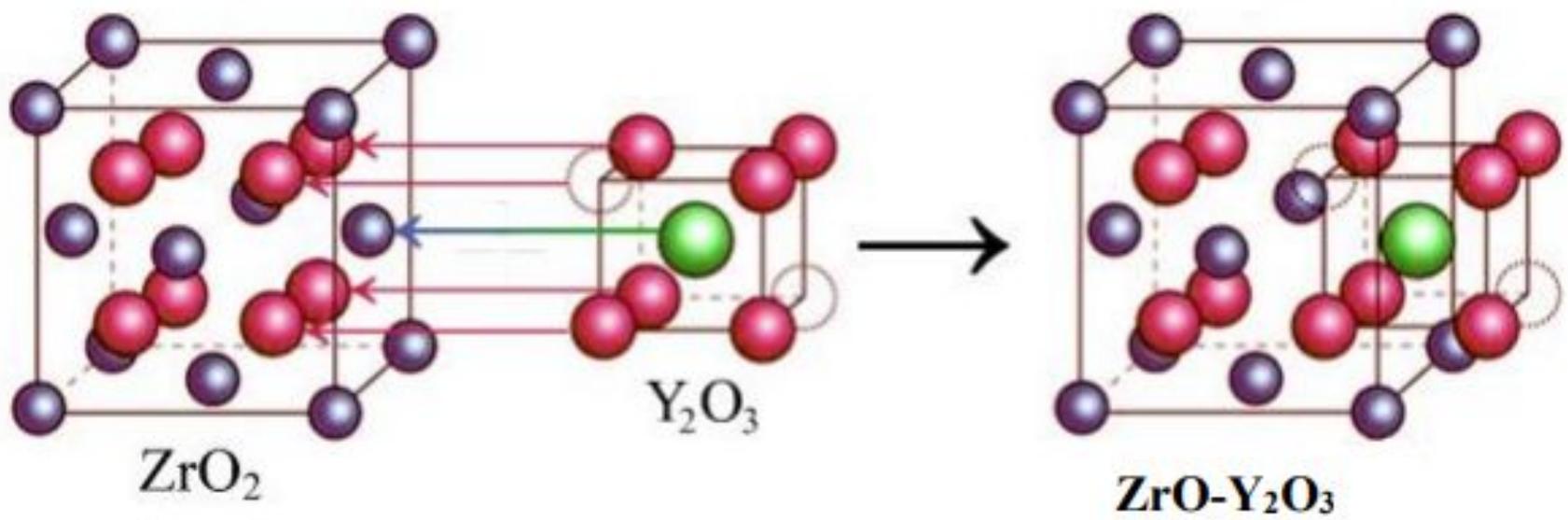




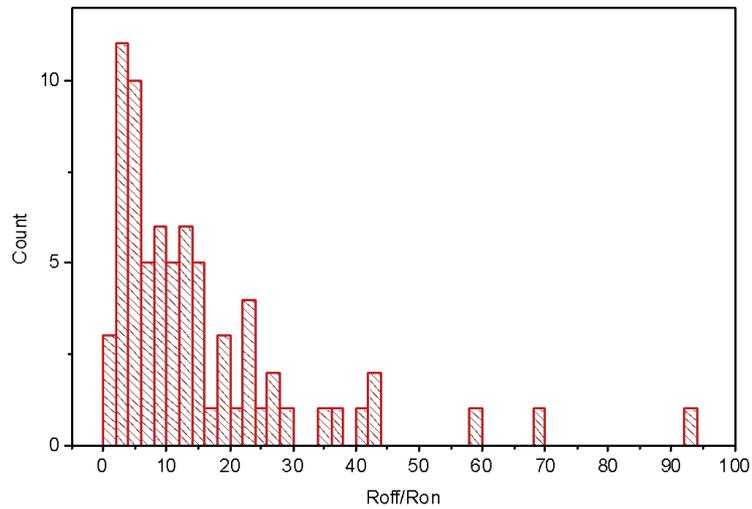
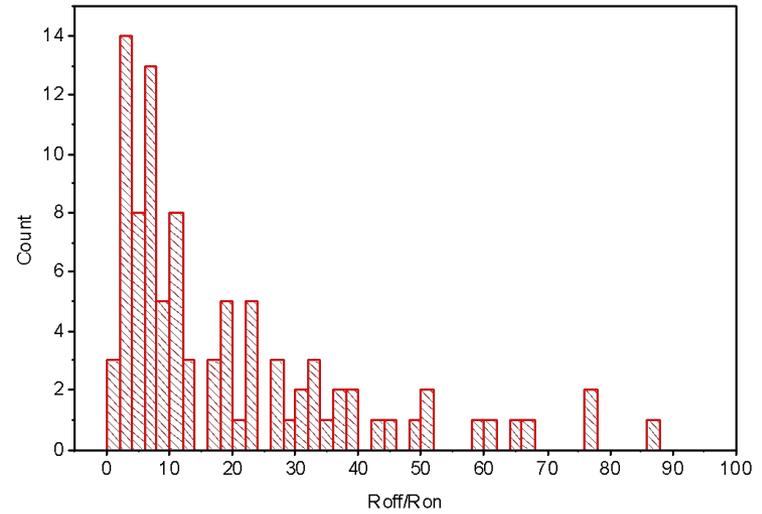
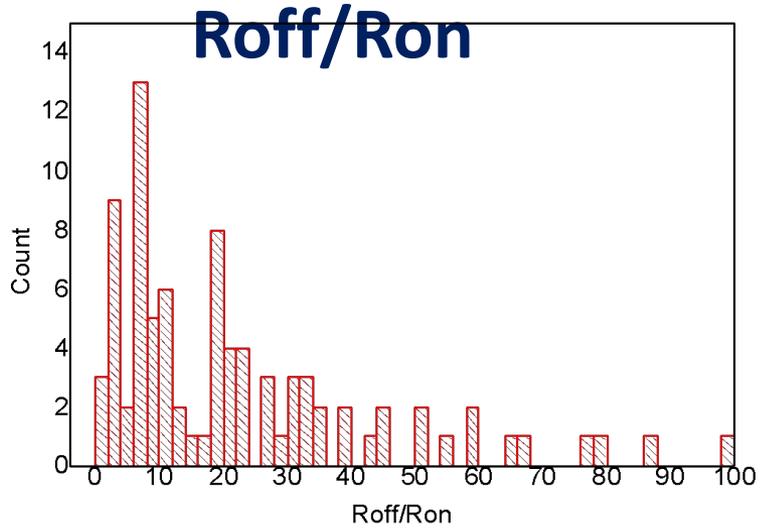
b



c



# Гистограммы распределения



# Экспериментальные результаты

