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 стабилизация 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 ферромагнитныефиламенты 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:

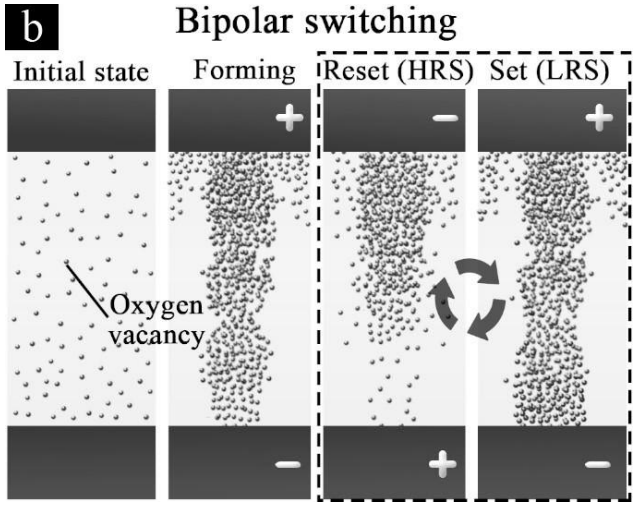
Введение

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

А. Петров, Л. Алексеева., А. Иванов и др. Наноиндустрия. №1/63/2016

Резистивное переключение в оксидах металлов

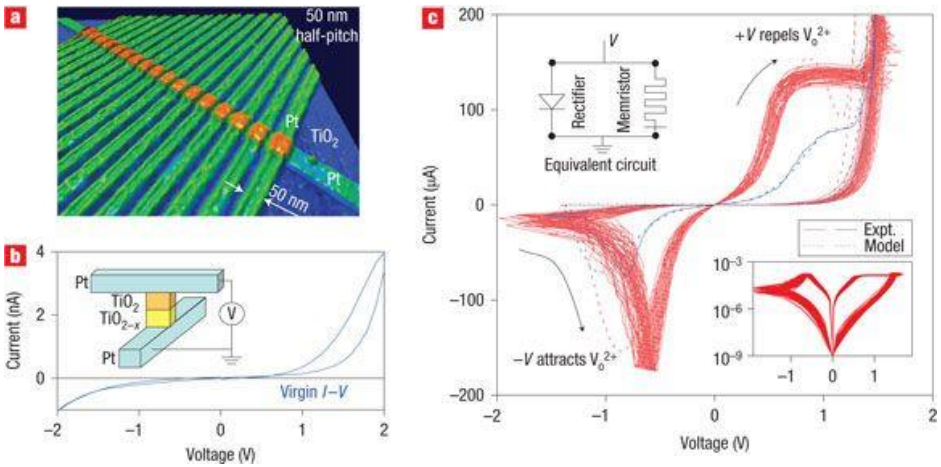
- Структуры: металл-диэлектрик-метал
- Толщина оксида ~ 10 нм
- ***механизм переключения:*** *реакции окисления/ восстановления в тонкопленочных слоях оксидов переходных металлов*
  - ✔ дрейф вакансий кислорода под действием электрического поля
  - ✔ Проводимость по филаментам



*

Применение:

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



**

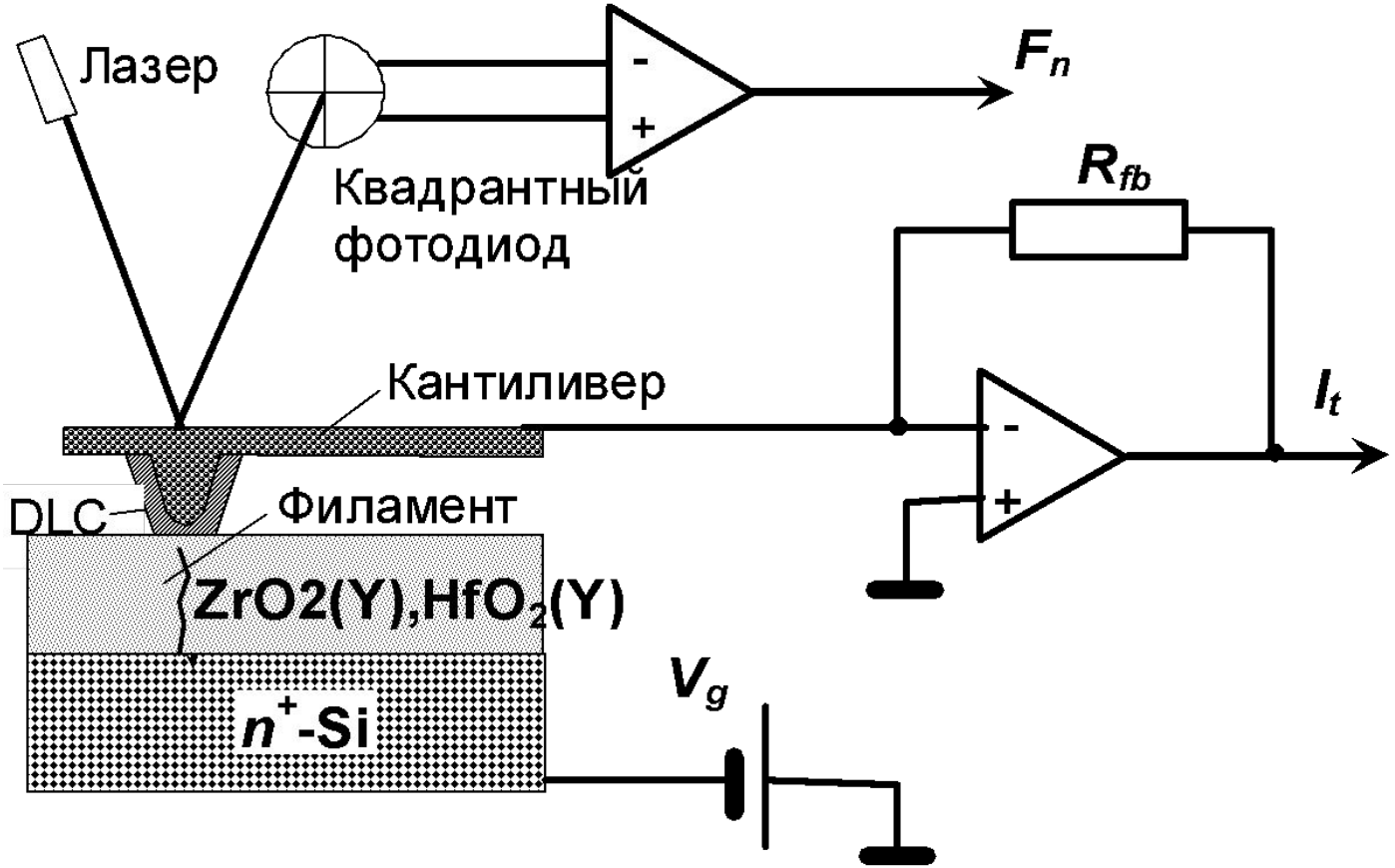
---

* http://nanoplatform.by/home/21-nauka-kategoriya

** J Yang et al Nature Nano (2008)

Влияние света на резистивные переключения в оксидах металлов

Исследование резистивного переключение 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 ферромагнитныефиламенты 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

<u>Цель работы:</u> Исследование влияния оптического излучения видимого диапазона на резистивное переключение в индивидуальных филаментах мемристоров на основе ZrO2(Y),HfO_2(Y) методом атомно-силовой микроскопии

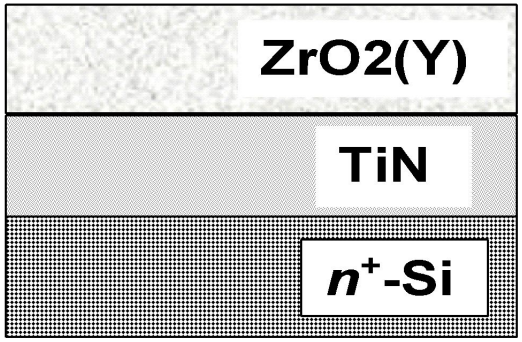
<u>Задачи работы:</u>

- 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 (Vset, Vreset, Ion/Ioff) в мемристорных структурах ZrO2(Y),HfO_2(Y) .

Методика эксперимента

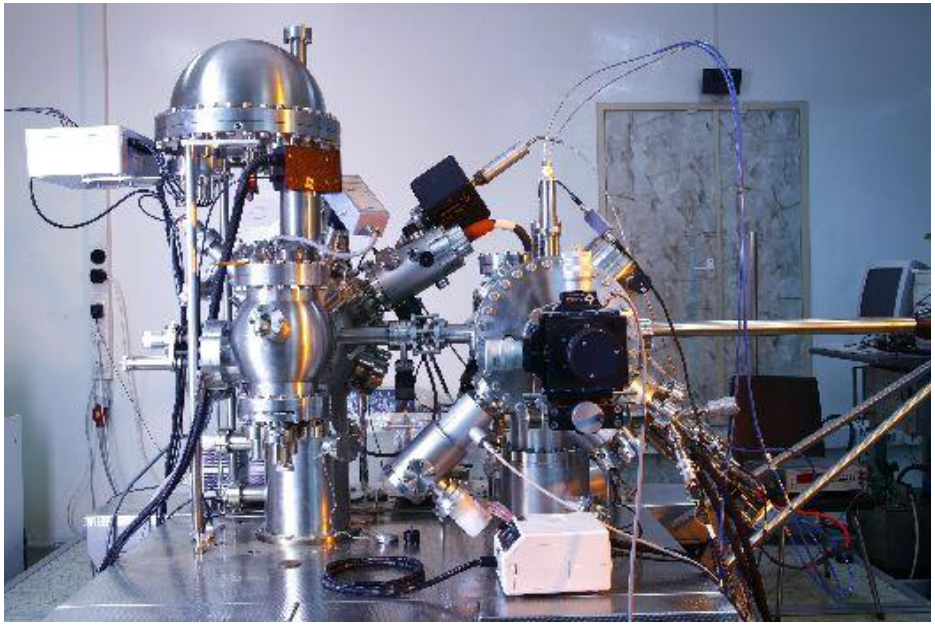
Образцы для исследований:

Si/TiN/ZrO2 (Y)



Высокочастотное магнетронное распыление спечённых порошковых мишеней ZrO_2—Y_2O_3 (молярная доля Y_2O_3 составляла ≈ 0,12), $T_{подл}$ ≈ 300 °C

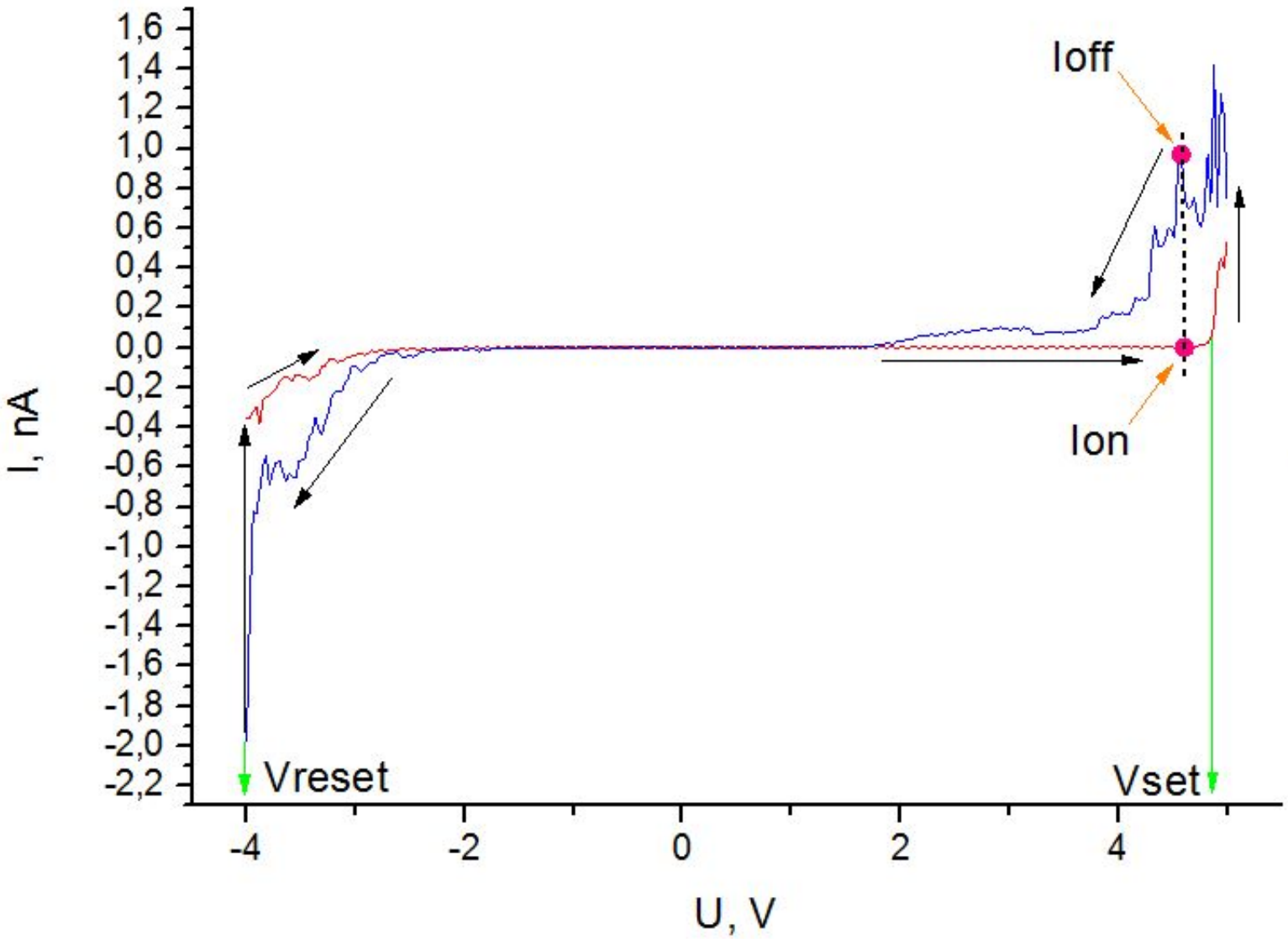
Методика исследований: туннельная атомно-силовая микроскопия



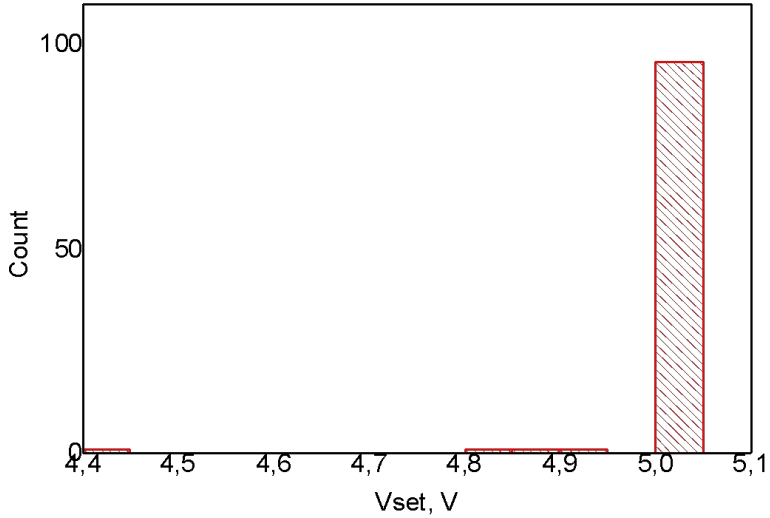
- Omicron ® UHV AFM/STM LF1
- Omicron ® MultiProbe ™ RM UHV system
- Давление в системе ~10^{-10} Torr, 300 K

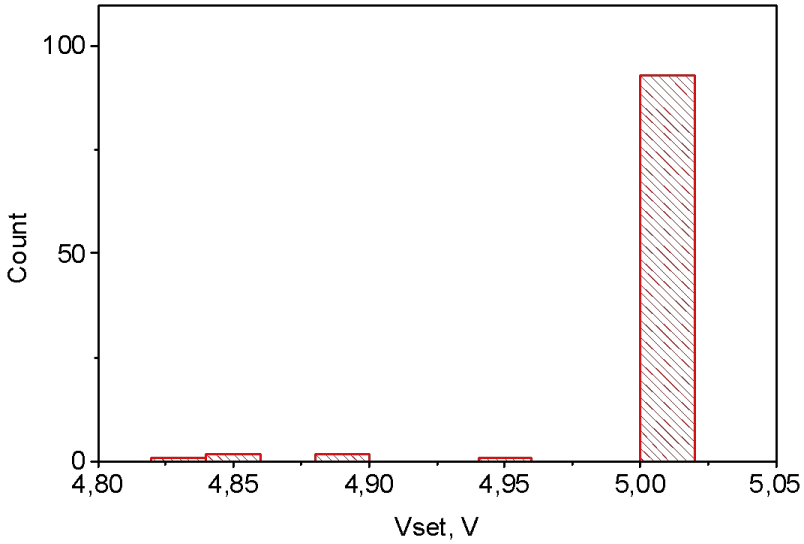
Зонды марки: NT MDT® NSG -11_DCP с алмазоподобным покрытием Rp =70нм

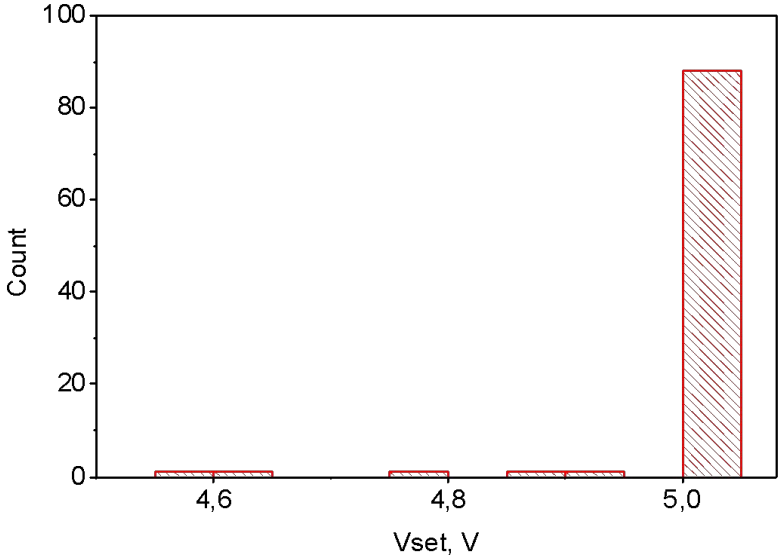
Методика обработки экспериментальных данных



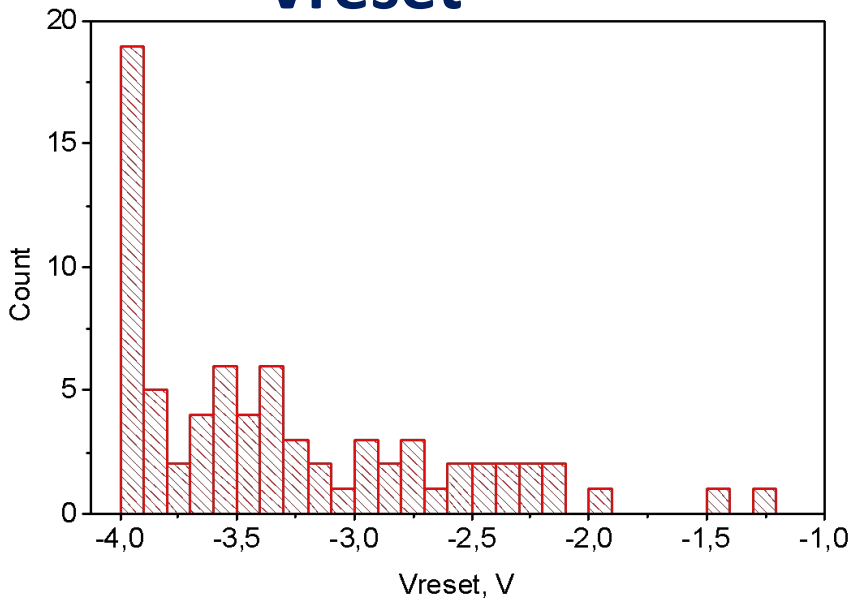
Гистограммы распределения Vset

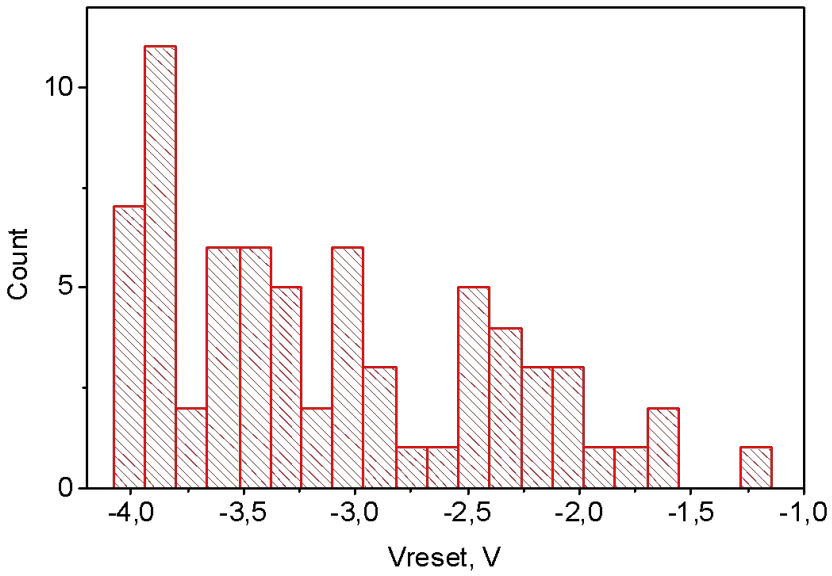


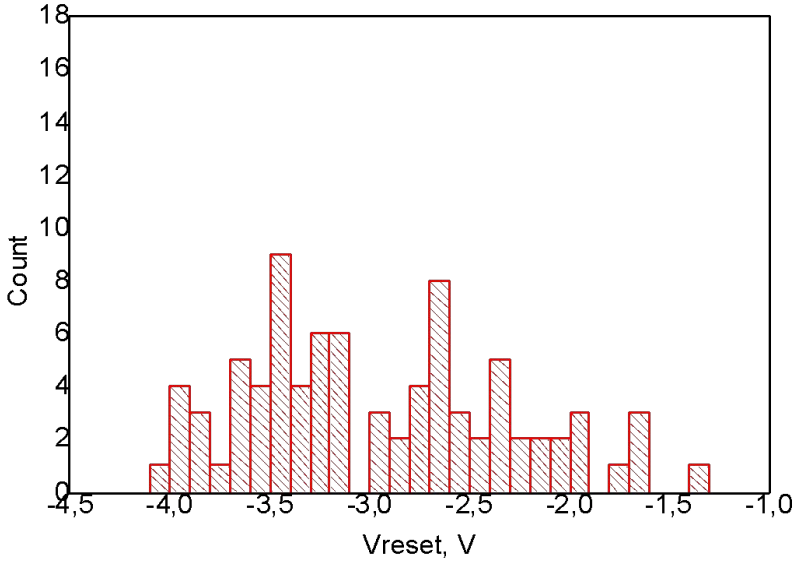




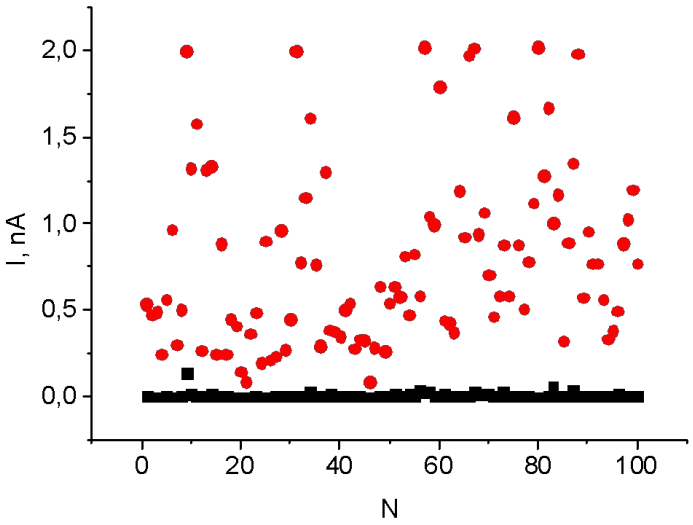
Гистограммы распределения Vreset

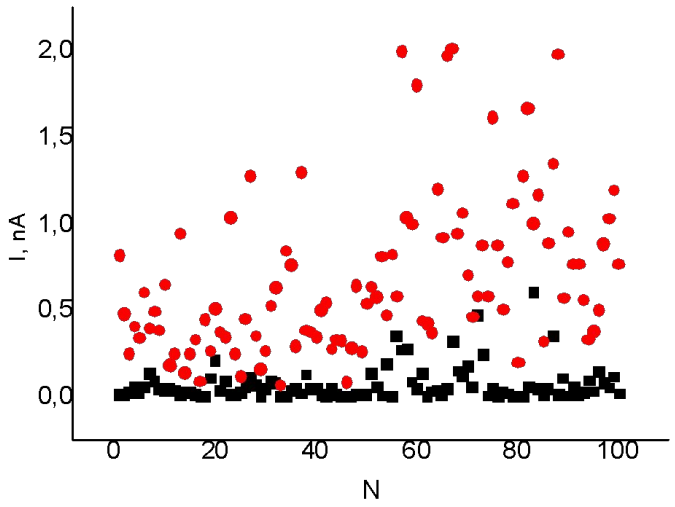


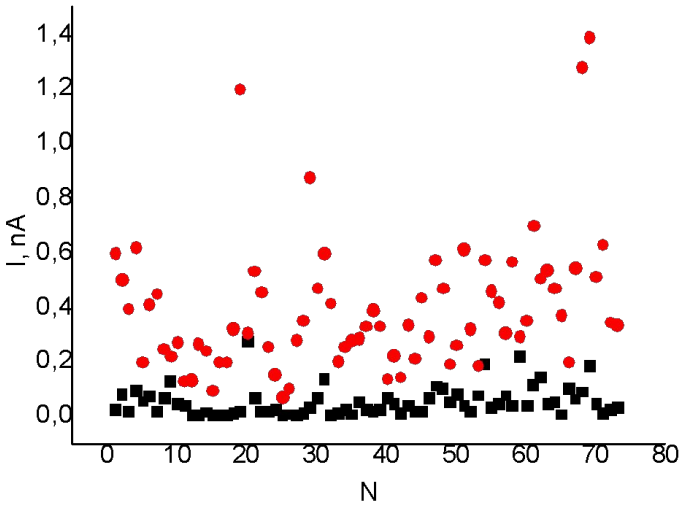




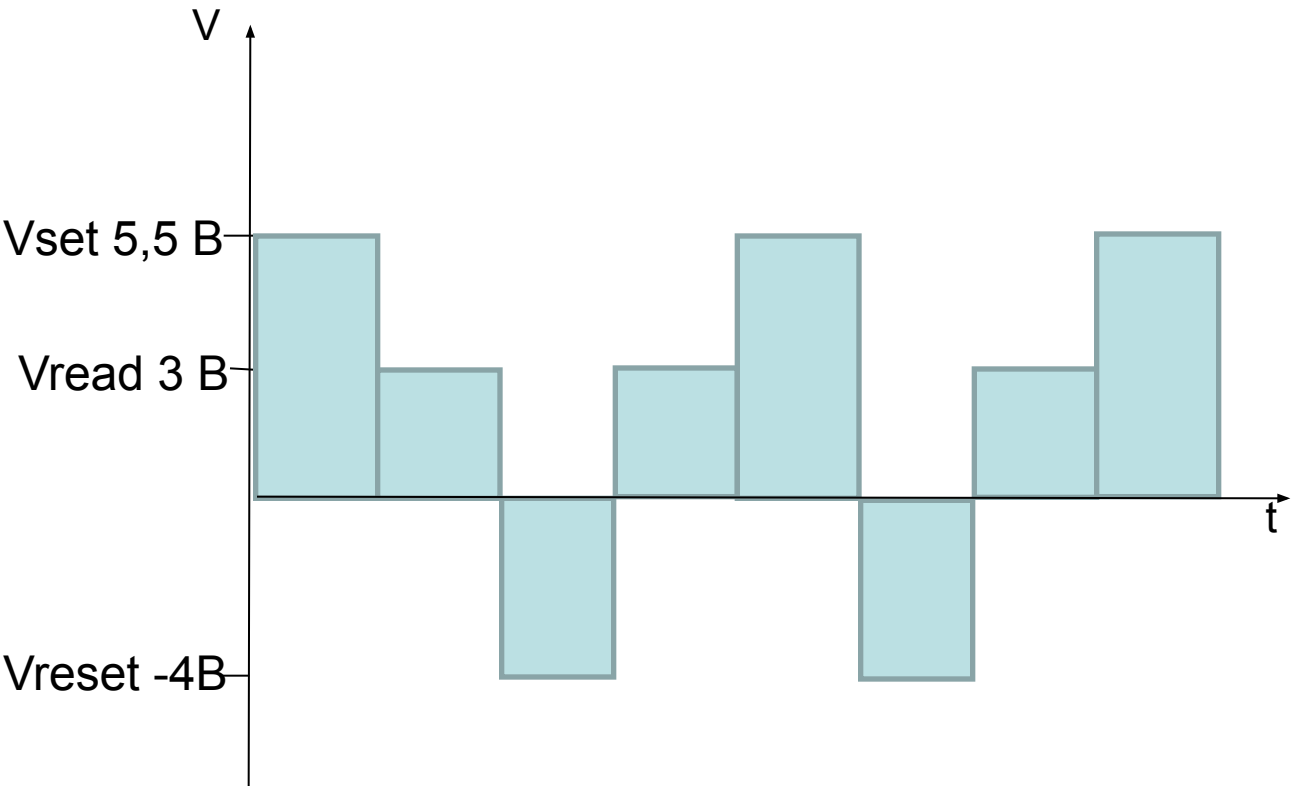
Диаграммы стабильности

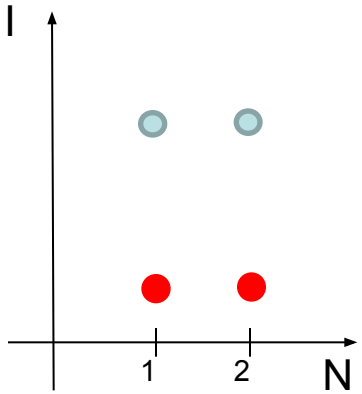




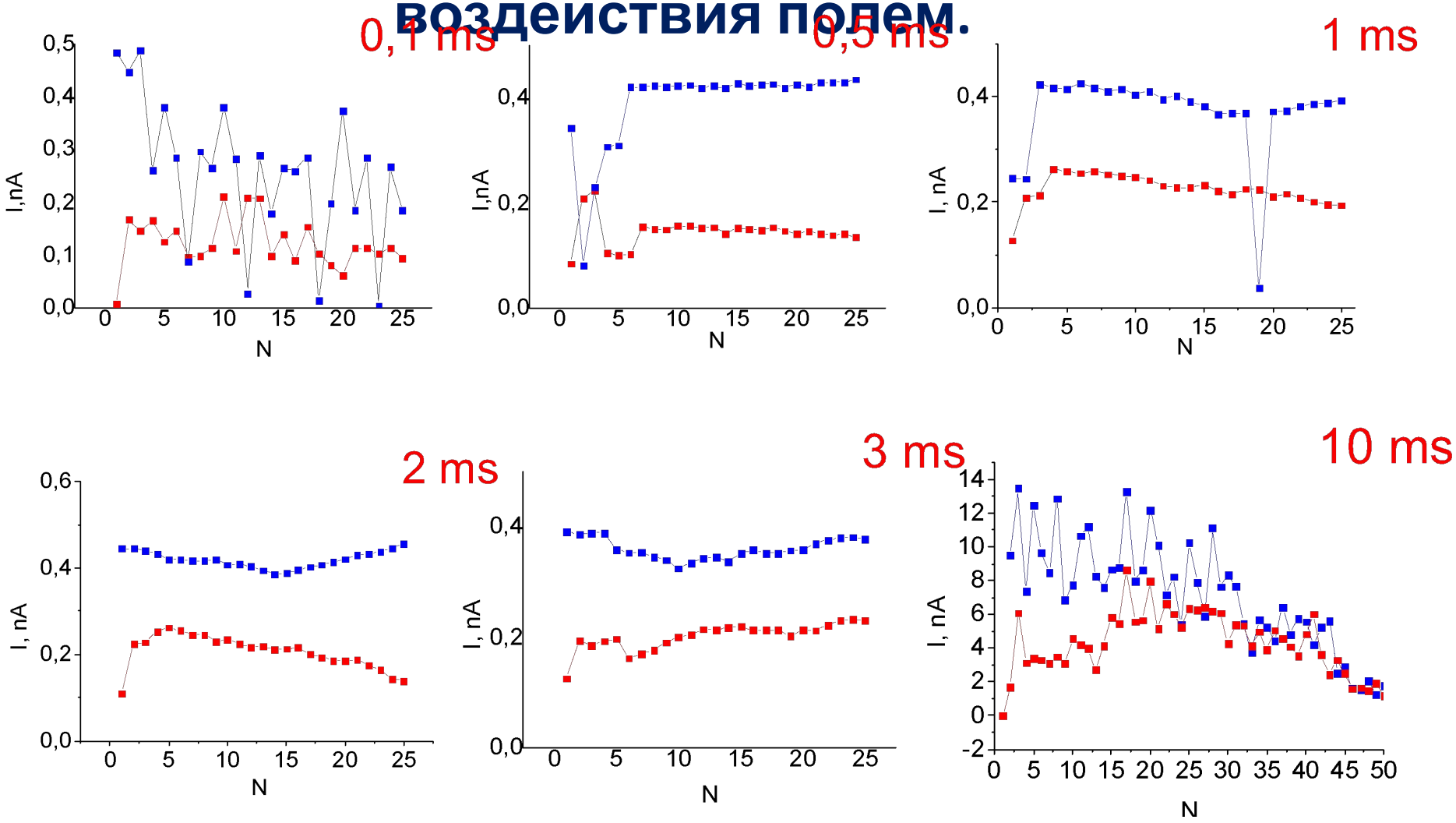


Протокол переключения





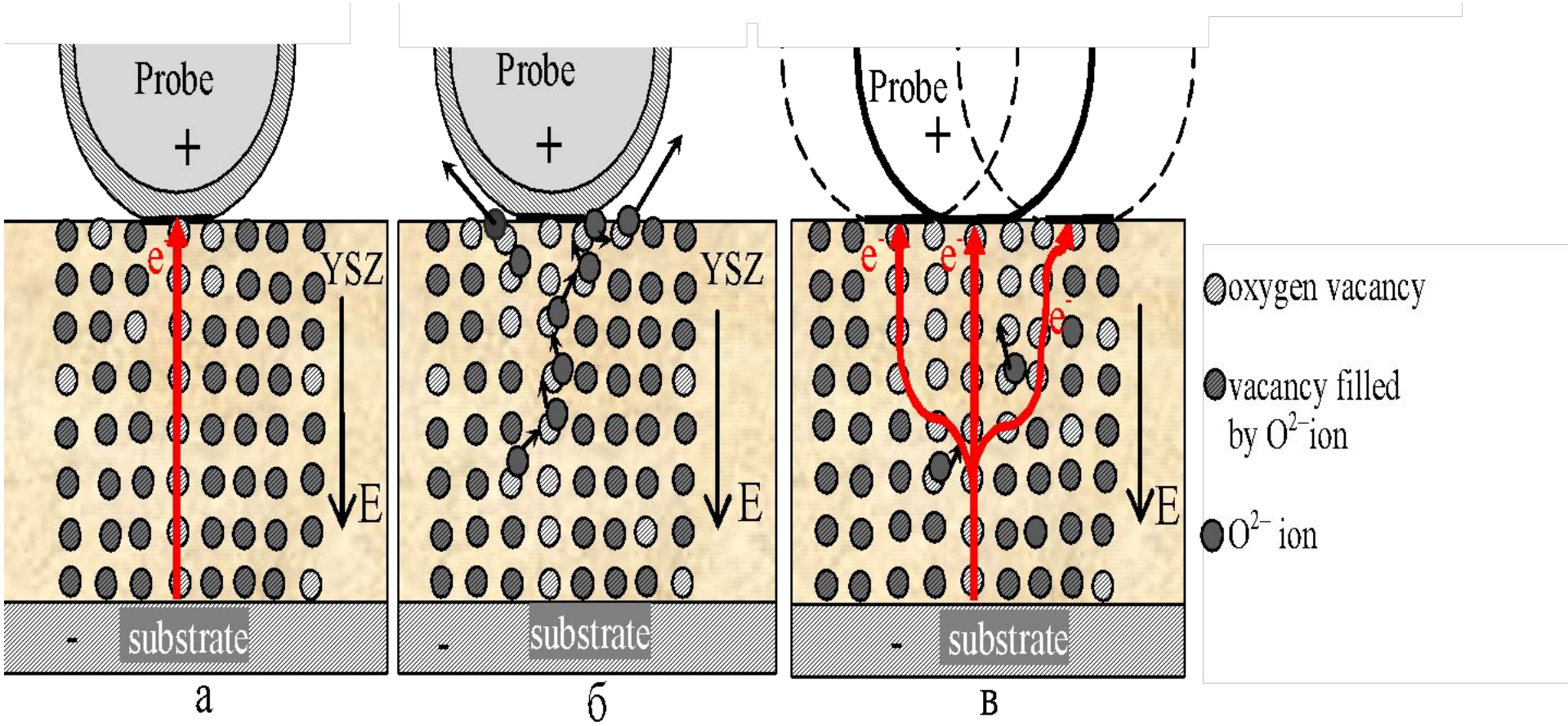
Диаграммы стабильности виртуального мемристора при разных временах воздействия полем.

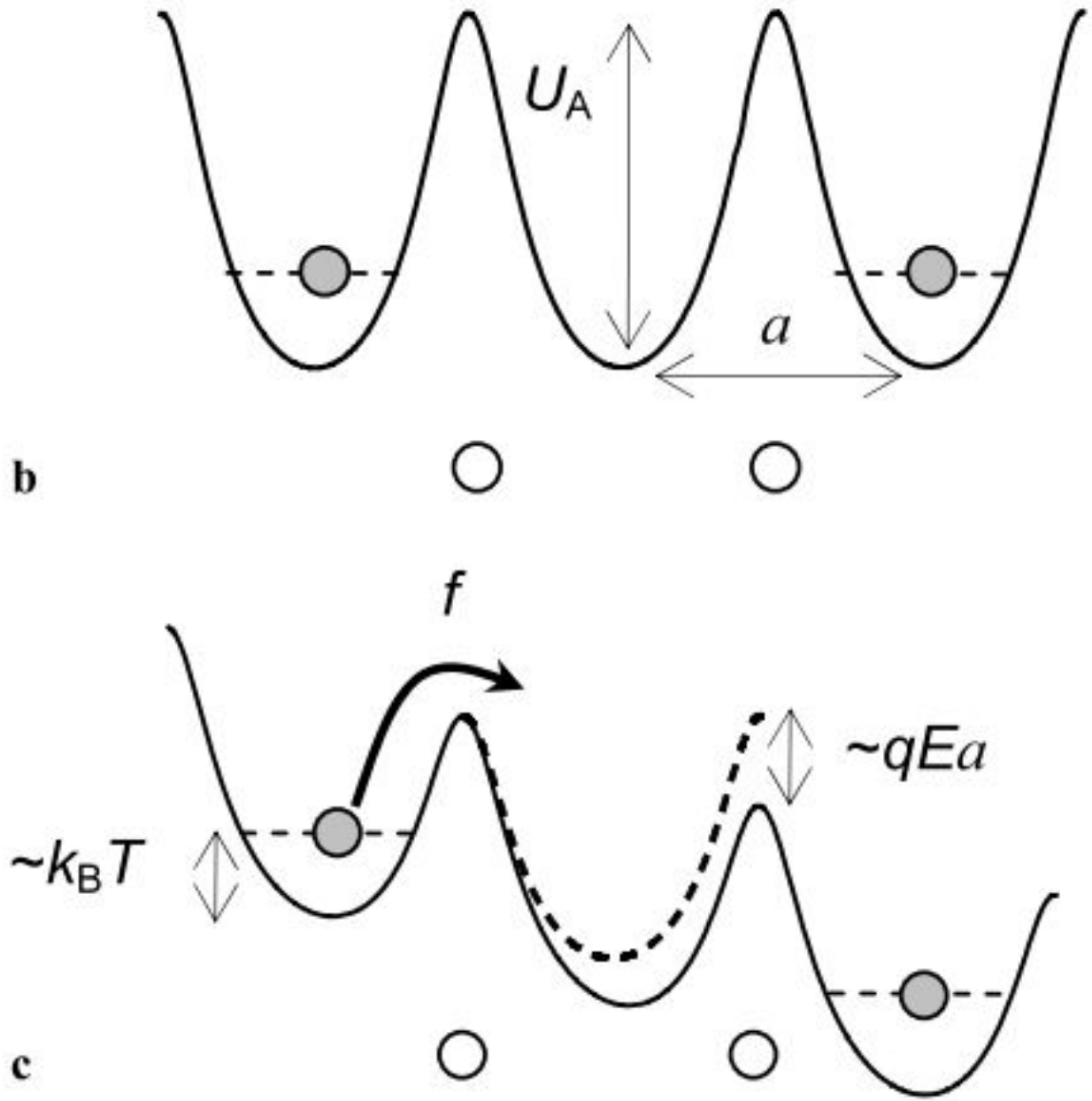


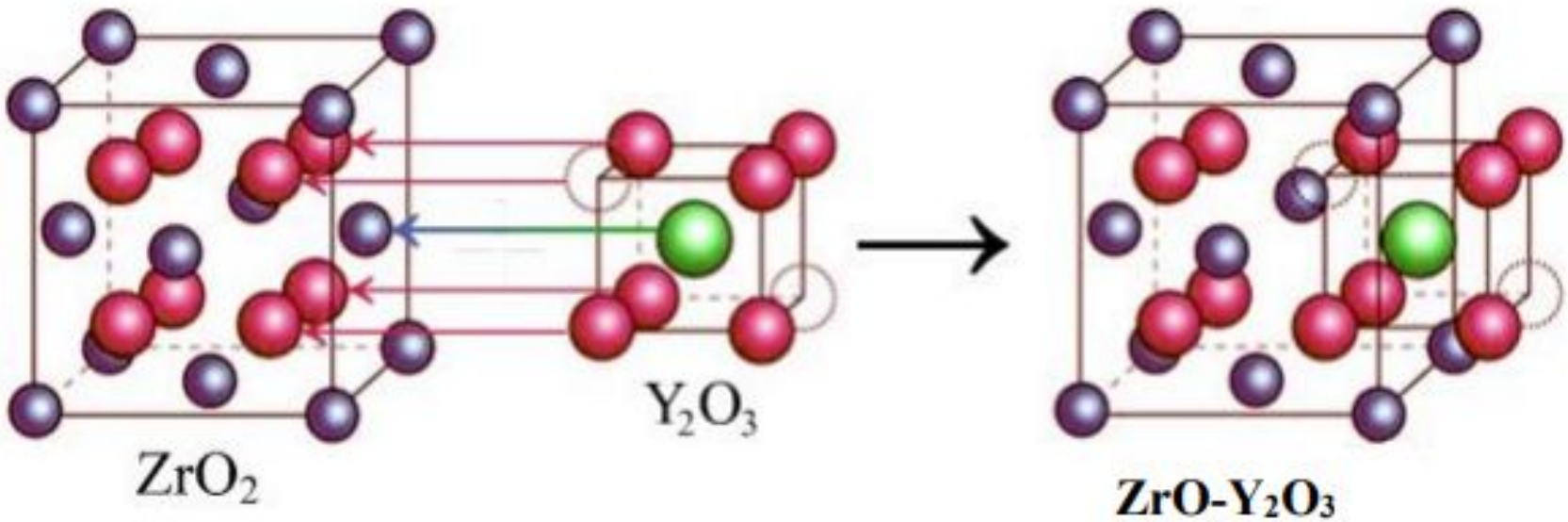
Выводы

-Определены основные параметры резистивного переключения виртуального мемристора на основе структуры Si/TiN/ZrO2(Y). Vset=5,5 В; Vreset = 4,5 В; Roff/Ron = 8-10.

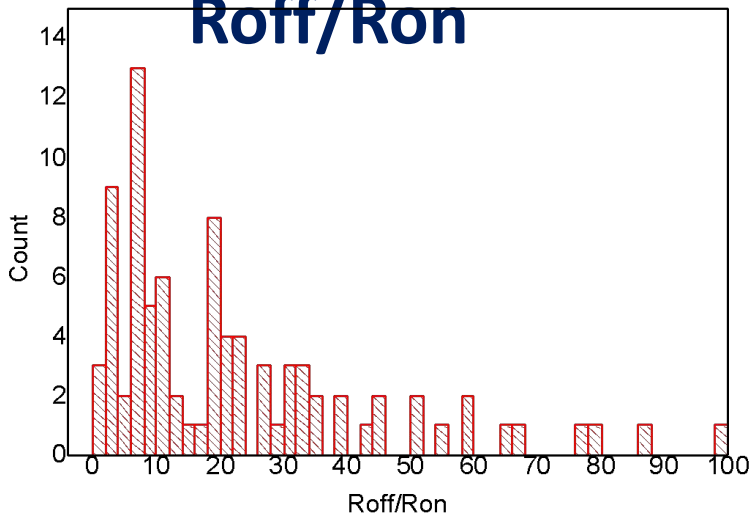
- Построены диаграммы надежности виртуального мемристора в зависимости от времени воздействия полем при переключении. Показано, что наибольшая стабильность переключений наблюдается при времени воздействия полем от 0,5-3 ms.

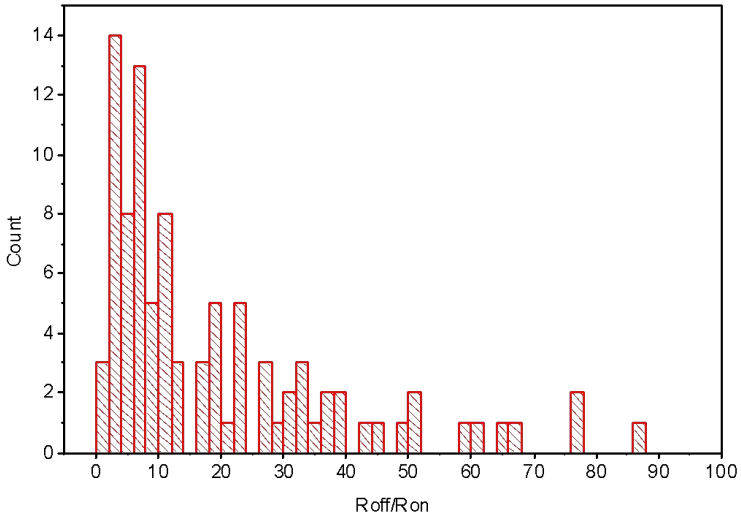

Probe
+
e-
YSZ
E
-
substrate
а
Probe
+
YSZ
E
-
substrate
б
Probe
+
e-
e-
e-
E
-
substrate
в
oxygen vacancy
vacancy filled by O^{2-} ion
O^{2-} ion

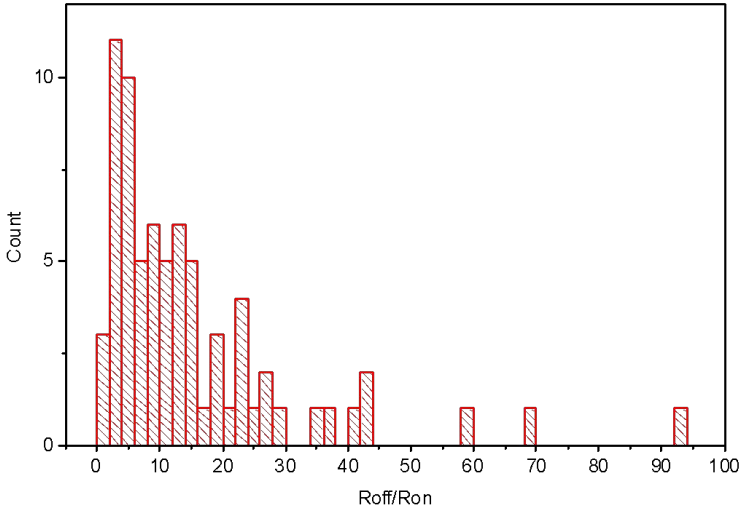
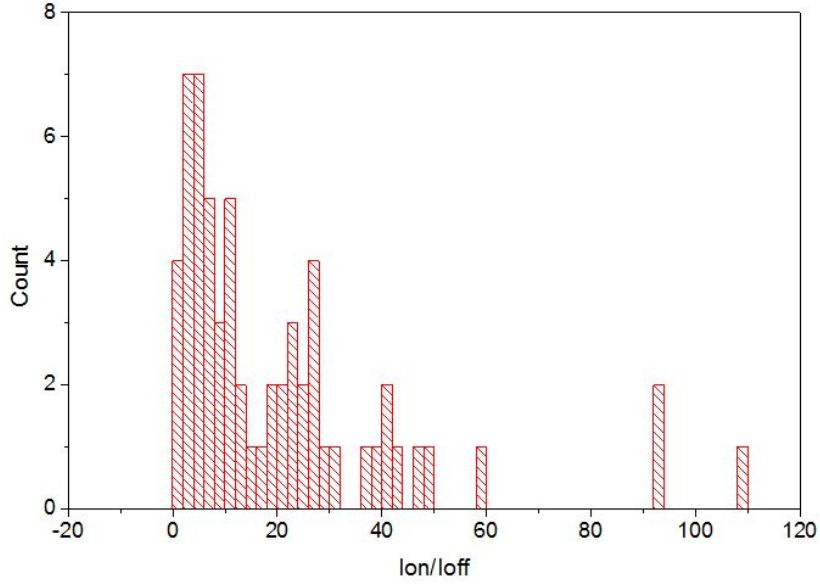
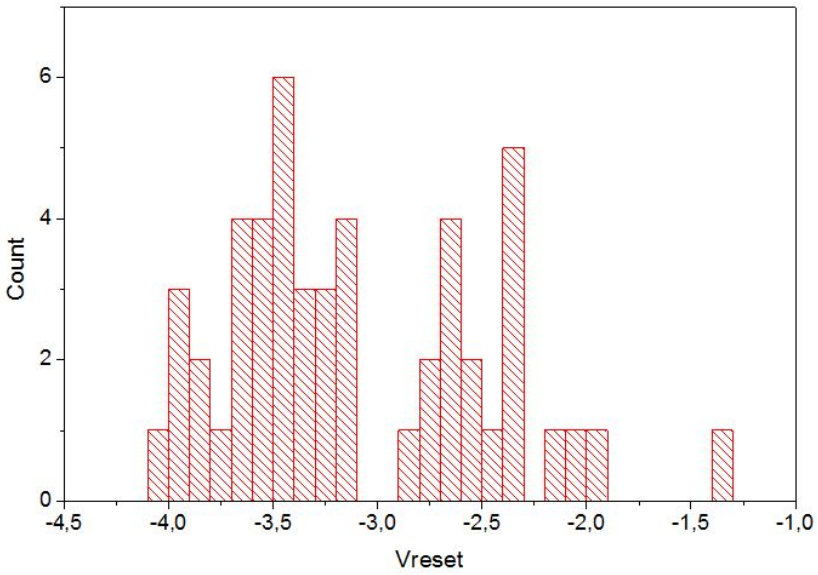
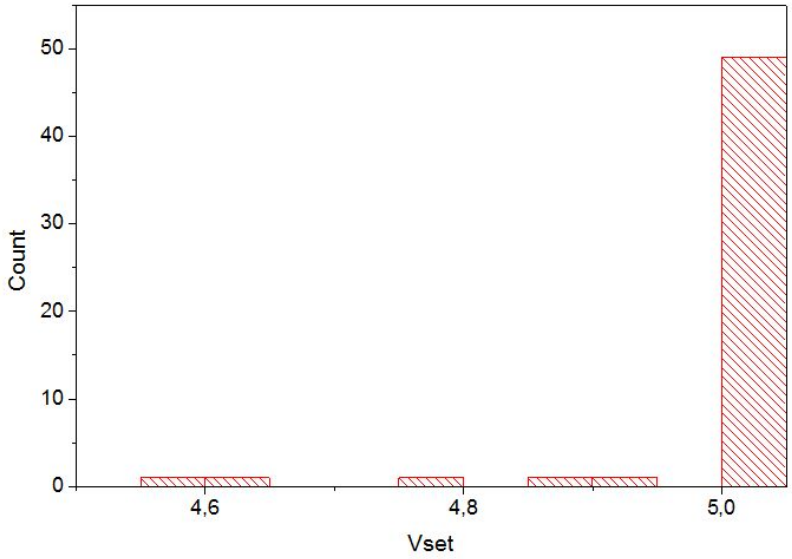

U_A
a
b
f
$\sim qEa$
$\sim k_B T$
c


ZrO_2
Y_2O_3
$ZrO\text{-}Y_2O_3$

Гистограммы распределения Roff/Ron







Экспериментальные результаты