



Конкурс для школьников «Гениальные мысли» Автореферат проекта призера II степени

Название работы – Мемристор – будущее резистивной памяти.

Автор – Яранцева София Александровна, 10 класс, МБОУ "Лицей № 2" г. Чебоксары, г. Чебоксары.

Руководители – Степанов Леонид Анатольевич, п.д.о., Наноквантум, детский технопарк «Кванториум», г. Чебоксары; Лаврентьев Анатолий Генрихович, учитель физики и информатики, МБОУ "Лицей № 2" г. Чебоксары, г. Чебоксары.

Основная идея работы, цели, задачи

Мемристор представляет из себя микрочип с мемристивным эффектом, который возникает в наноразмерных структурах металл-диэлектрик-металл за счет перемещения зарядов в сверхтонком диэлектрическом слое при приложении электрического поля. Устройство может иметь различные размеры, отдельные элементы могут быть не больше $10 \times 10 \times 10 \text{ нм}^2$.

Цель: создание и сборка мемристорных МДМ-структур, различных типов, и дальнейшее изучение их свойств.

Задачи:

1. Провести обзор литературы связанной с мемристорами;
2. Изучить подходы к созданию мемристоров и подобрать подходящую методику;
3. Изготовить элементы мемристора на основе пленок нанометровой толщины;
4. Провести эксперимент по редактированию электрофизических свойств мемристора;
5. Определить важность мемристора и перспективы в резистивной памяти.

Актуальность и новизна работы

На данный момент есть необходимость создания альтернативной и энергонезависимой памяти высокой плотности записи данных, также обладающей низкой потребляемой мощностью и высокой скоростью работы. Под это описание подходит мемристор, который вскоре будет являться основой нового поколения устройств энергонезависимой памяти.

На сегодняшний день различные материалы предложены в качестве изолирующих слоев для создания мемристоров. В отличие от этих материалов перовскиты значительно выигрывают за счет их смешанного поведения ионно-электронной проводимости, то есть галогенидные противоионы перовскитов подвижны под действием электрического тока. Новые уникальные функции могут быть разработаны с мемристорами на основе перовскитов. Потенциально могут быть использованы преимущества фотопоглощающих способностей этого нового материала и системы синергетических взаимодействий фотонов, электронов, а так же ионные процессы.[3]

Поэтому в качестве диэлектрика в мемристоре я решила использовать перовскиты.

Основные результаты

Практическая часть 1.0

В качестве диэлектрического слоя я использую гибридный органо-неорганический перовскит на основе йодида свинца. Для верхнего и нижнего электрода я взяла медь, так как этот металл доступный и недорогой, а также не реагирует с перовскитом выбранного состава. Легирующий слой будет представлять собой полианилин, он химически инертный, недорогой и прост в получении. Он необходимо для того, чтобы избежать рекомбинации ионов и для улучшения мемристивных свойства. Для подложки использую толстое органическое стекло и толстый полиэтилен.

1. Нанесение металлического скотча на подложку.

Мы брали подложку, обрабатывали ее спиртом (для лучшего приклеивания к поверхности), а далее приклеивали полоски скотча шириной 5 мм между параллельными линиями оставляли расстояние в 5 мм.

2. Получение полианилина.

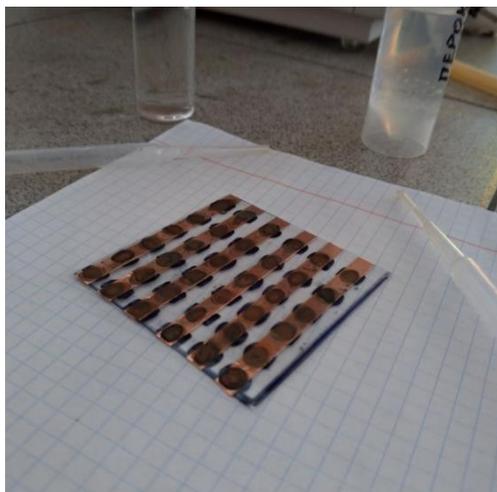
Подготовка растворов. Расчёты производили на мерные колбы объемом 25 мл.

Для приготовления 0,2 моль/л раствора анилин гидрохлорида – необходимо взвесить 1.295 г., растворить небольшим количеством дист. воды, перелить в колбу на 25 мл (пару раз промыв стакан малыми порциями дистиллята) и довести до метки.

Для приготовления 0,25 моль/л раствора пероксидисульфата аммония – необходимо 2.855 г. взвесить в химическом стакан, растворить небольшим количеством дист. воды, перелить в колбу на 25 мл (пару раз промыв стакан малыми порциями дистиллята) и довести до метки.

3. Нанесение полианилина.

Смешивание растворов можно проводить одновременно или последовательно нанося каплю реактива на подложку. Через 10 минут нужно смыть дистиллированной водой верхние слои с подложки. Оставшуюся пленку просушить на воздухе. Пленка должна иметь зеленоватый оттенок. Эмеральдиновую форму обрабатываем раствором аммиака, после высыхания - фиолетовый оттенок.



4. Получение перовскита на основе свинца.

Задача: получение метиламмония йодида ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$)

Реактивы: метиламин 10 мл, перекись водорода 182,796 г, йод кристаллический 40,9677 г

Ход работы:

- 1) Охлаждаем раствор H_2O_2 примерно до нуля град.
- 2) Добавляем крист. I_2 в охлажд. H_2O_2
- 3) Добавляем метиламин
- 4) Далее полученный порошок соли перекристаллизовывали из этанола при 100 градусах под вакуумом

Результат: $m(\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I})=51.29\text{г}$

Задача: Получение метиламмония йодида свинца

Реактивы: метиламмония йодид, йодид свинца, ДМФ(растворитель).

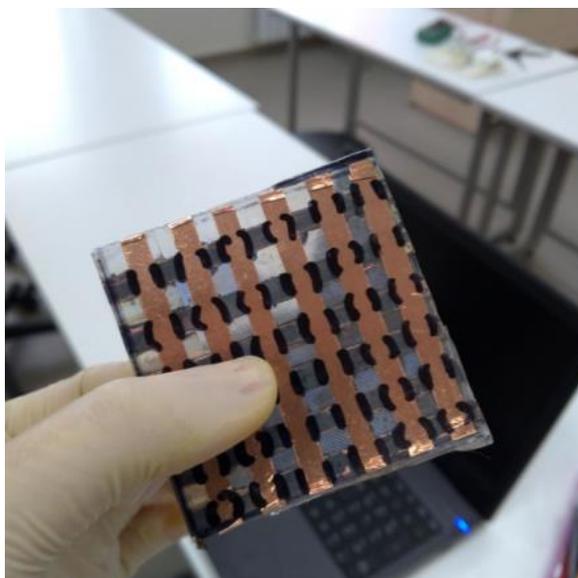
$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ (0,395 г) смешивали с PbI_2 (1,157 г) в 2 мл ДМФ при 60 ° С в течение 12 часов при перемешивании.[6]

5. Нанесение перовскита на подложку с электродом.

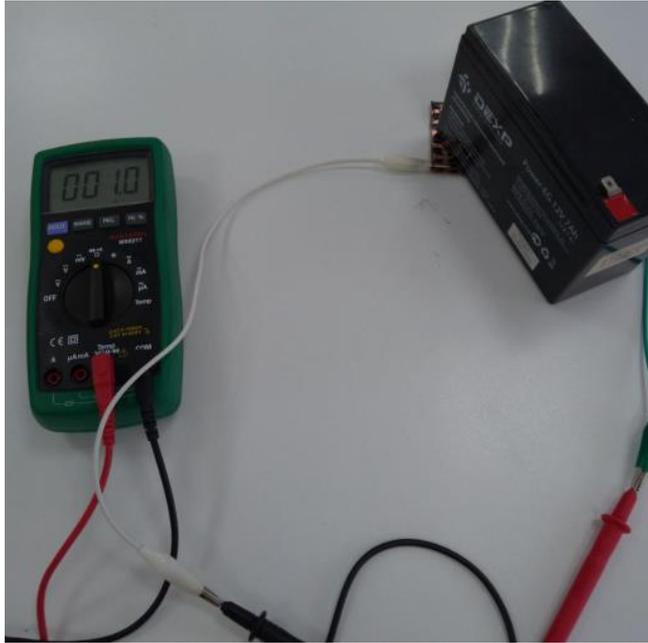
Сначала мы пробовали нанести перовскит с помощью капель на место где будет контакт одновременно высушивая нагревая подложку на электрической плитке до 100 °С. Но данный слой перовскита был слишком толстым и неоднородным. Поэтому мы нанесли его с помощью ватных дисков, параллельно нагревая феном до 100 °С, добиваясь образования тонкого слоя.

6. Соединение и измерение сопротивления.

Мы получаем две подложки, на одной из которых нанесен диэлектрический слой перовскита, а на другой легирующий слой – полианилина. Соединяем и прижимаем для образования контакта.



В качестве груза мы используем аккумулятор и подключаем установку к мультиметру.



Мультиметр показывал что сопротивление $R=1.0$ Ом.

7. Исследование электрофизических характеристик мемристора.

Измерить ВАХ в диапазоне 0-1 В и 1-0 В. Мы постепенно увеличивали напряжение и проверяли не изменилось ли сопротивление.

Сопротивление не менялось пока напряжение не достигло 0.9 В и поменялось только на 0.3 Ом.

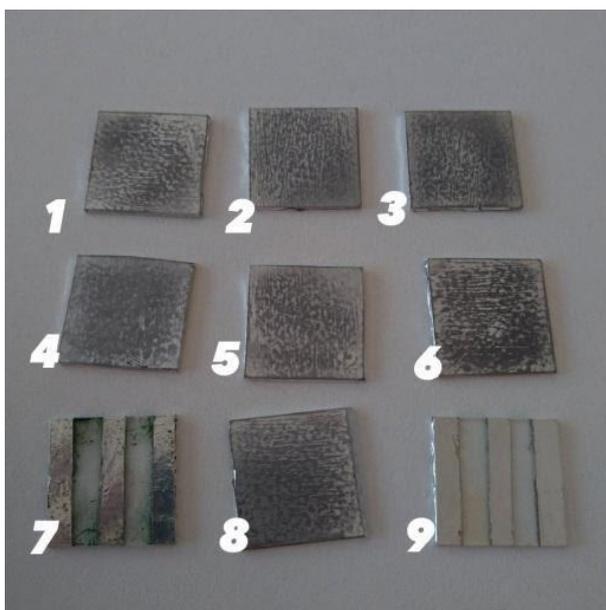


При дальнейшем увеличении напряжения сопротивление оставалось постоянным.

Практическая часть 2.0

Выявления лучшего способа нанесения нанопленки. Чтобы получить более равномерный и тонкий слой мы пробовали наносить полианилин и ацетат цинка двумя способами:

1. С помощью напыления аэрозолей на подложки аэрографом и дальнейшим нагревом в две стадии, до 100 градусов в течение 5 минут и до 200 градусов в течение 30 минут.
2. С помощью самодельного прототипа спин-коатера, далее нагревая до 200 градусов для испарения растворителя и закрепления полимера на подложке.



Подложки с алюминиевым скотчем обработаны шкуркой зернистостью P2000 чтобы увеличить адгезию.

№1 - полианилин (два подхода по 14 мкл с помощью спин-коатера).

№2 - полианилини (5 подходов по 14 мкл с помощью спин-коатера).

№3 - оксид цинка (ацетат цинка нанесен в 2 подхода с помощью аэрографа, 10 см от подложки).

№4 - оксид цинка (ацетат цинка нанесен в 3 подхода с помощью аэрографа, 15-20 см от подложки).

№5 - оксид цинка (ацетат цинка нанесен в 1 подход с помощью аэрографа, 5-10 см от подложки). Слишком близко - получилось с каплями.

№6 - оксид цинка (ацетат цинка наносился в течение 30 секунд с помощью аэрографа, 10-20 см от подложки).

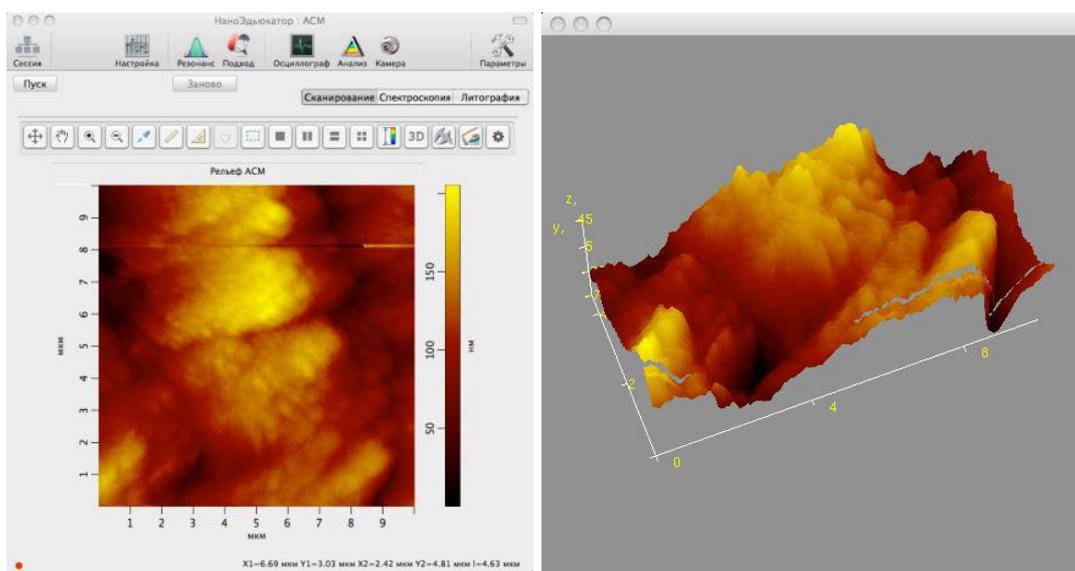
№7 - полианилин (4 подхода по 10 мкл с помощью центрифуги по 10 мкл, алюминиевая подложка не обработана шкуркой). Ннаносится неравномерно –каплями.

№8 - оксид цинка (ацетат цинка наносился в течение минуты с помощью аэрографа, 10-20 см от подложки).

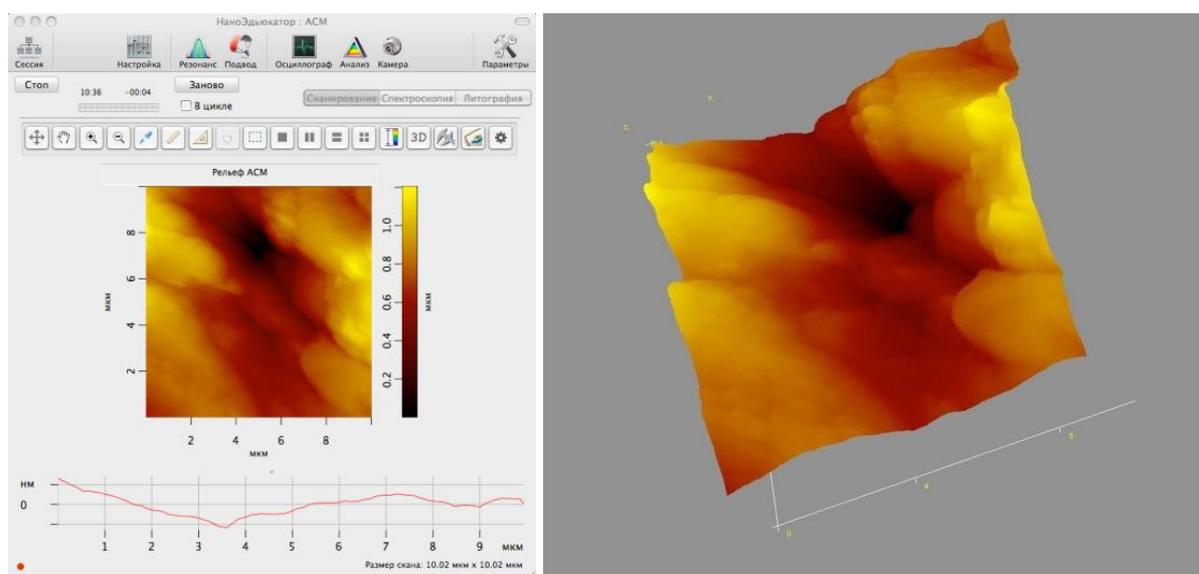
№9 - оксид цинка (ацетат цинка наносился в течении двух минут с помощью аэрографа, 10-20 см от необработанной подложки).

Далее подложки исследовались на зондовом микроскопе. Но удалось проверить только подложки № 1 и 6, из-за сильных шумов на остальных.

№1 - Толщина пленки полианилина на первой подложки варьируется до 150 нм. Но вероятнее всего, это даже не полианилин а поврежденный шкуркой алюминиевый скотч.



№6 - Нанесение с помощью аэрографа ацетата цинка в течении 30 секунд образовало достаточно толстый слой - 1 мкм. Но так же вероятнее всего виден поврежденный шкуркой алюминий, чем сам слой ацетата цинка.



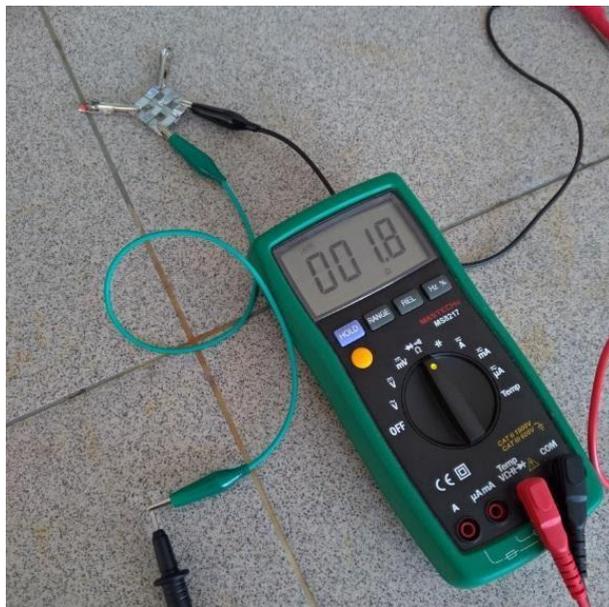
При общем анализе, выяснилось что нанослой лучше формируется с помощью аэрографа при правильной настройке. А обработка шкуркой - нежелательна, так как нанести равномерный слой становится намного сложнее. Поэтому для изготовления мемристорной МДМ-структуры я использую этот метод нанесения с помощью аэрографа.

Практическая часть 3.0

Получение отдельных элементов и сбор мемристора

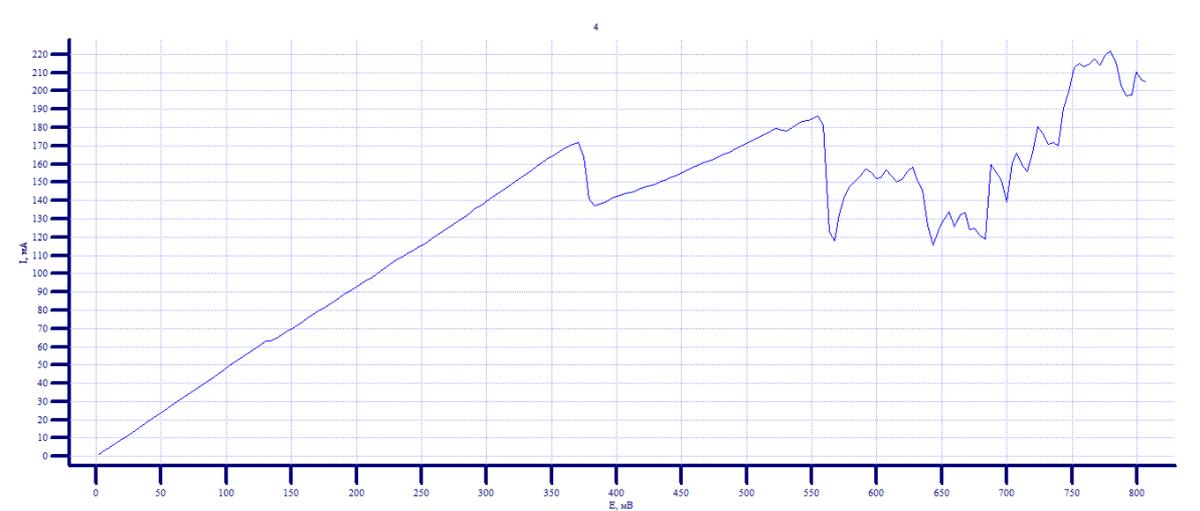
Для следующих мемристоров в качестве подложки я взяла стекло, а в качестве металлического слоя медь и алюминий. Легирующий слой всё так же полианилин, но только на органическом растворителе ДМФ. Диэлектрик в мемристоре – перовскит на основе йодида свинца.

1. Подложки и проводящие дорожки формировали также как в “Практической части 1.0”
2. Очищаем подложки спиртом и наносим полианилин с помощью аэрографа, добиваясь минимально возможного количества распыляемого материала.
3. Также с помощью аэрографа наносим перовскит на вторые подложки мемристоров и прокаливаем их на плитке в течении 10 минут при 150 градусах.
4. Аккуратно убираем лишние дорожки и соединяем.
5. Измеряем начальное сопротивление с помощью мультиметра. $R=1.8$

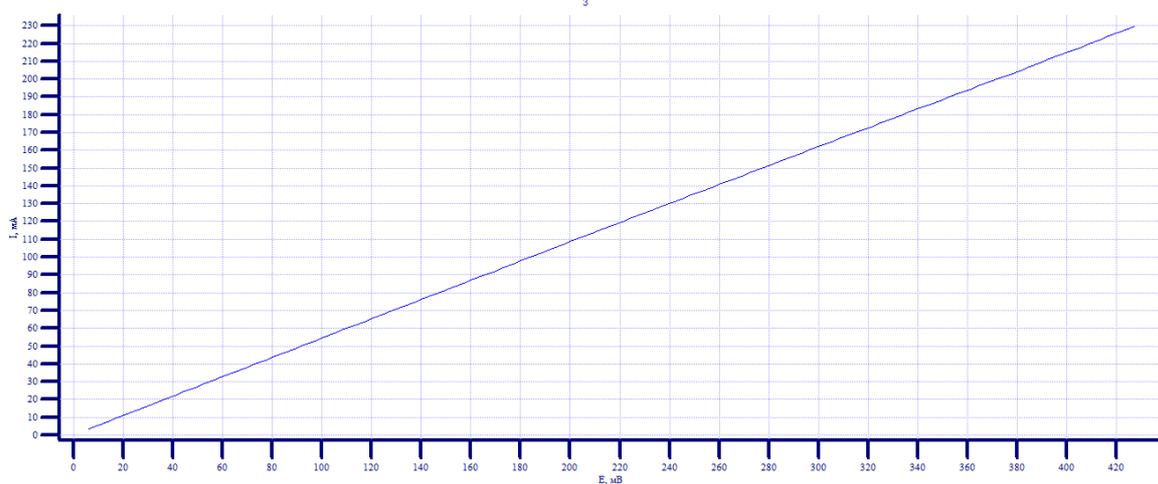


6. Подключаем к потенциостату-гальваностату р-2х, который в соответствии с программой изменяет напряжение от 0 до 1200 мВ и фиксирует изменение ВАХ и гистерезис.

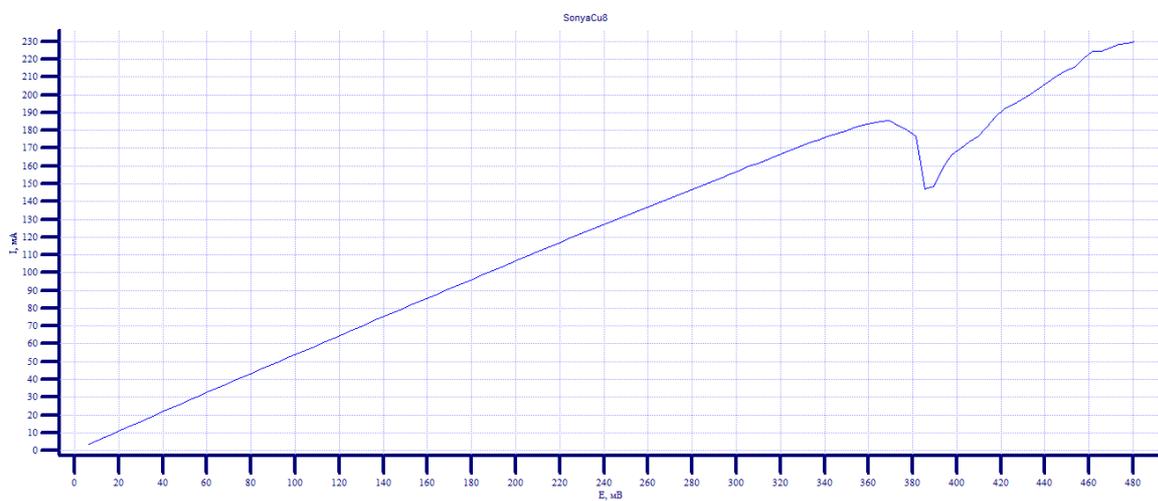
Изменения ВАХ и гистерезис смогли наблюдать только в местах центрального пересечения дорожек.



В всех остальных ячейках полученного мемристора, изменений ВАХ или гистерезиса мы не наблюдали. Кроме этого, во всех случаях измерения ВАХ, наблюдалось отключение прибора при достижении верхнего предела по току. Возможно необходимо формировать более качественный и толстый легирующий слой, что мы будем проверять далее.



7. Те же самые действия проводим с мемристором на медном скотче.



Изменения ВАХ и гистерезис также смогли наблюдать только в местах центрального пересечения дорожек.

Выводы, заключение, перспективы

Были получены образцы следующих материалов: полианилин (2способа), метилламмоний йодид, йодид свинца, метилламмоний йодид свинца (перовскит), оксид цинка (2 способа), которые я использовала и часть буду использовать для создания элементов мемристоров. Часть из них была изучена на зондовом микроскопе, но их изучение не закончено и будет продолжено. Также используемые материалы и методики их нанесения в ближайшее время будут изучены с помощью оптических методов.

Планируется, после нахождения оптимальных методик нанесения получить мемристоры на основе проводящих гелей, неорганических и органических полупроводников.

Были измерены ВАХ и гистерезис изготовленных мемристоров и подтвержден, хоть и не на всей поверхности, их мемристивный эффект. Планируется изучить гистерезис на переменном токе, после сборки необходимого аппаратного комплекса.

Список цитированных источников

1. https://www.youtube.com/watch?v=JtOp-ENzdUA&ab_channel=PalsanTechnology
2. Гудков А. и др. Мемристоры-новый тип элементов резистивной памяти для наноэлектроники //Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2014. – №. 5. – С. 156-162.
3. Zhao X. et al. Memristors with organic-inorganic halide perovskites //InfoMat. – 2019. – Т. 1. – №. 2. – С. 183-210.
4. Никитин А. В. Немного о мемристоре... //Академия Тринитаризма», М., Эл. – 1953. – №. 77-6567
5. Мемристор. Изготовление структуры и исследование ее свойств. Лабораторный практикум для 5 курса ФФКЭ МФТИ. // ФГАОУ ВПО «Московский физико-технический институт (государственный университет)» Долгопрудный - 2013.