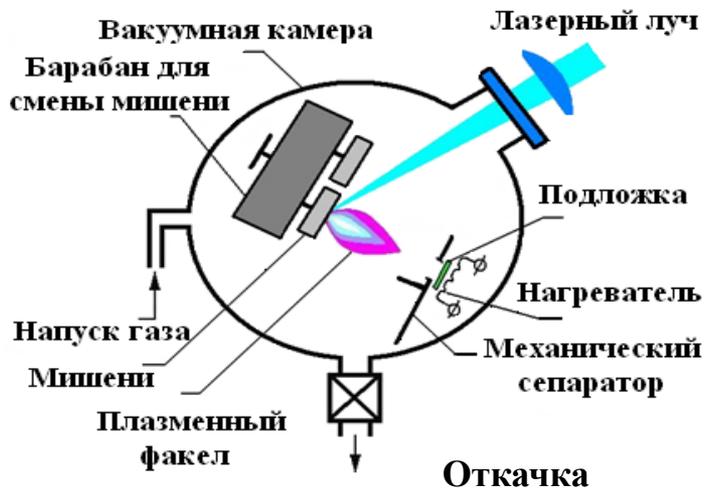


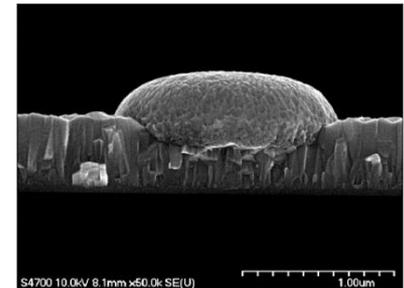
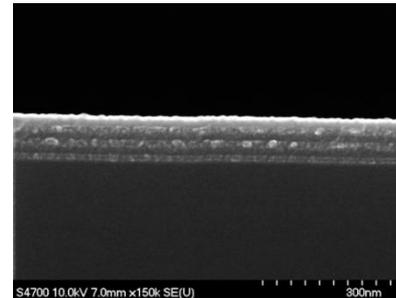
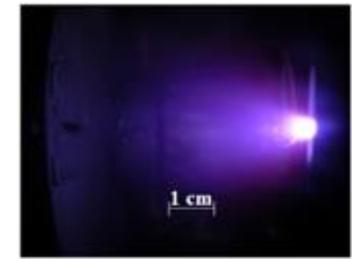
Лазерный синтез мемристорных структур на основе оксидов переходных металлов V, Nb, Ta в кроссбар-геометрии и реализация основных аппаратных элементов нейроморфных систем нейристора и синаптора на их основе

**О.А.Новодворский, Л.С.Паршина, О.Д.Храмова,
ИПЛИТ РАН
Филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН**

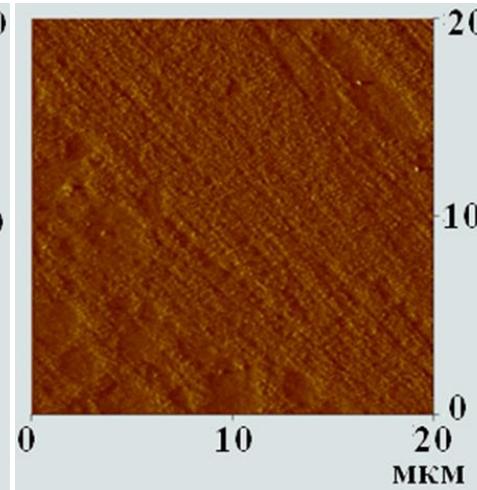
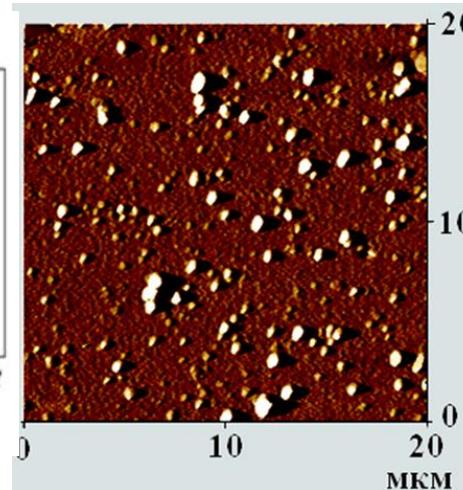
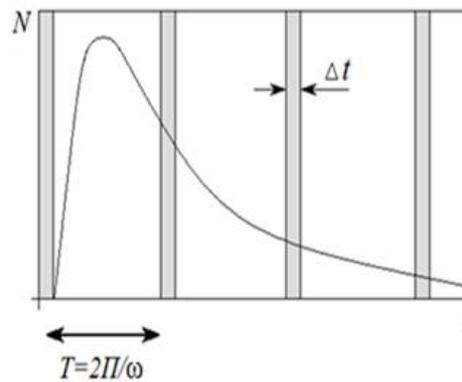
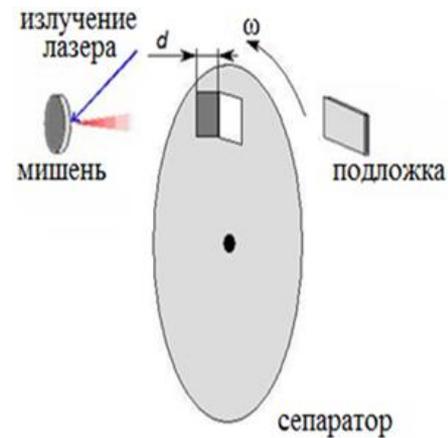
Схема метода.



Процесс напыления.



Бескапельное напыление



Метод импульсного лазерного осаждения тонких пленок

Достоинства метода

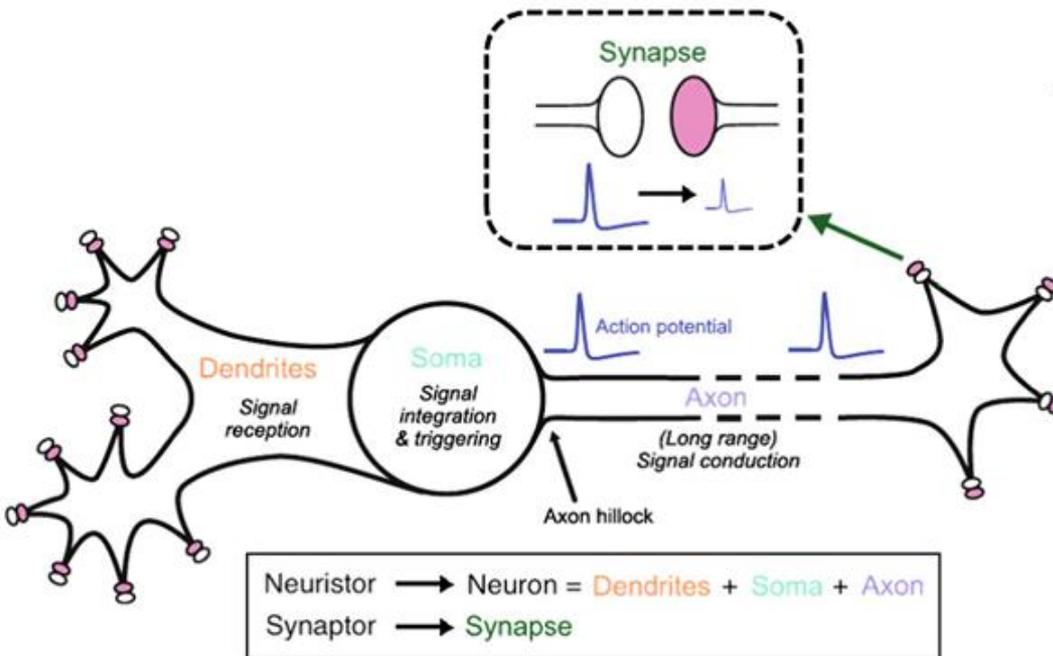


В ИПЛИТ РАН получены:

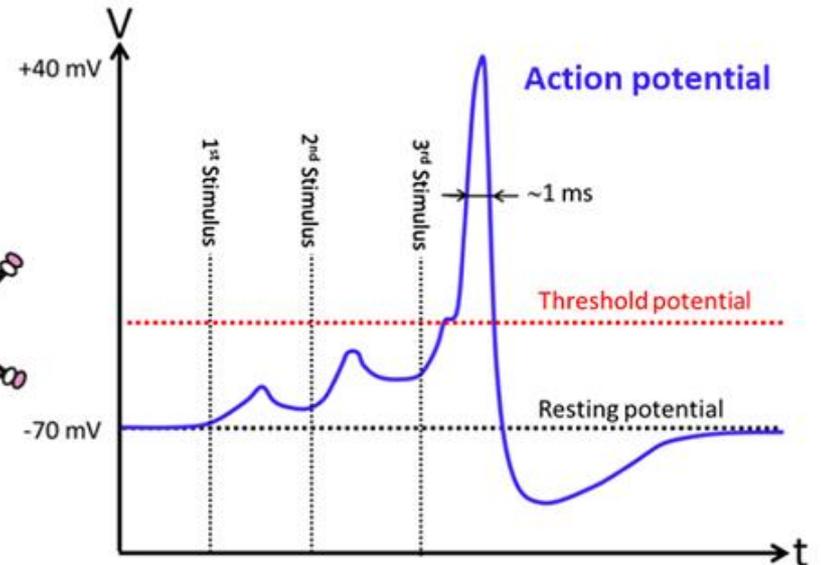
- Пленки оксидов металлов из металлических и керамических мишеней;
- Прозрачные проводящие пленки оксидов металлов ZnO:Al, SnO₂:Sb
- Пленки высокотемпературных магнитных полупроводников MnxSi_{1-x}, GaSb:Mn, InSb:Mn, ZnO:Co, легированных 3d металлами для задач спинтроники;
- Многослойные покрытия (квантовые ямы ZnO/MgZnO, гетероструктуры n-ZnO/p-GaN, излучающие в ближнем УФ диапазоне
- Мемристоры TiO₂, VO₂, ZnO:Co
- Электрохромные пленки WO₃, тонкие пленки кобальтата лития для полностью твердотельных электрохромных ячеек
- ВТСП пленки;

Как устроена клетка мозга?

a. Neuron Structure



b. Leaky Integrate and Fire

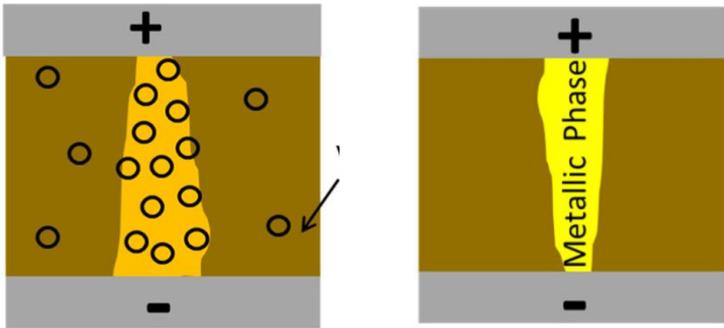
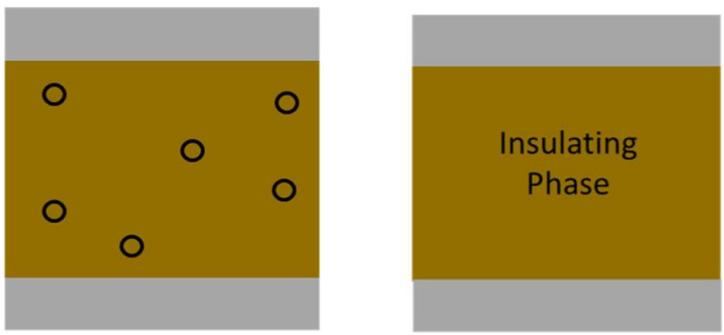
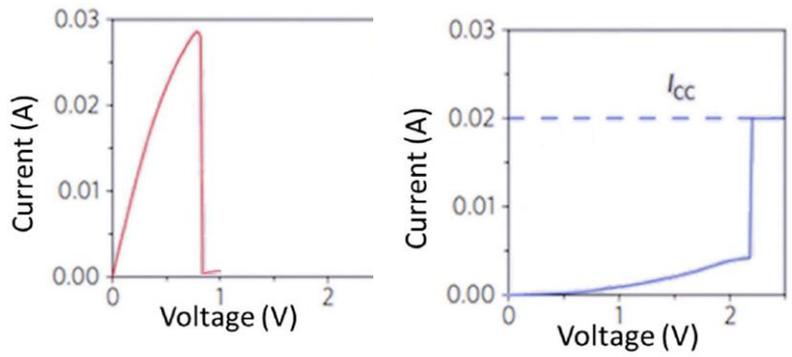


Таким образом, био-подобная система может состоять из четырех основных искусственных устройств, моделирующих нейроны, синапсы, аксоны и дендриты, с высокой степенью взаимосвязанности.

Как создать искусственные синапсы, аксоны, дендриты и нейроны?

Нейроморфные функциональные возможности могут быть реализованы с использованием резистивного переключения, физического явления, при котором сопротивление мемристора зависит от приложенного напряжения.

Резистивное переключение может быть энергозависимым и энергонезависимым.



При энергозависимом переключении сопротивление материала изменяется при подаче напряжения, после чего оно возвращается к своему первоначальному значению.

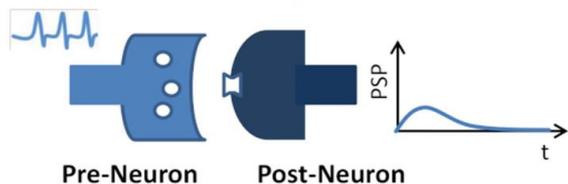
При энергонезависимом переключении сопротивление материала не возвращается к своему первоначальному значению

Чем привлекательны оксиды переходных металлов?

1. На оксидах переходных металлов можно реализовать оба типа резистивного переключения: энергозависимое и энергонезависимое.
2. Эти два типа резистивного переключения позволяют реализовать основные элементы нейроморфных систем:
нейристоры (которые имитируют утечки, интегрируют и запускают всплески нейронов)
и синапторы (которые имитируют поведение памяти синапсов).
3. Энергозависимое резистивное переключение (VRS) моделирует функции нейронов благодаря своему пороговому поведению: материал остается непроводящим до тех пор, пока пороговое напряжение (точнее, электрическое поле) не будет превышено и не вызовет падение сопротивления. После снятия напряжения устройство возвращается в исходное (непроводящее) состояние.
4. Энергонезависимое RS является идеальным эффектом для реализации синаптических функций:
проводимость синаптора играет роль синаптического веса, а его энергонезависимость имитирует синаптическую память и пластичность.
5. Энергонезависимое резистивное переключение основывается на дрейфе ионов кислорода в оксидах переходных металлов, и, благодаря многовалентным состояниям переходного металла, полученные структуры могут иметь различное сопротивление.

Моделирование синапса

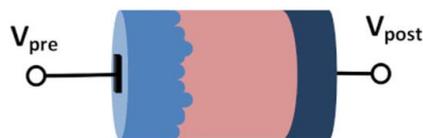
(a) Before Learning



After Learning



(b) High Resistant State - R_{off}



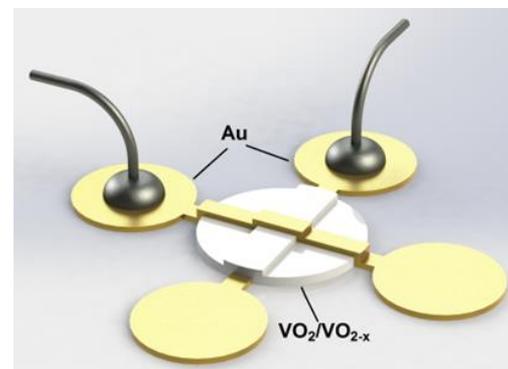
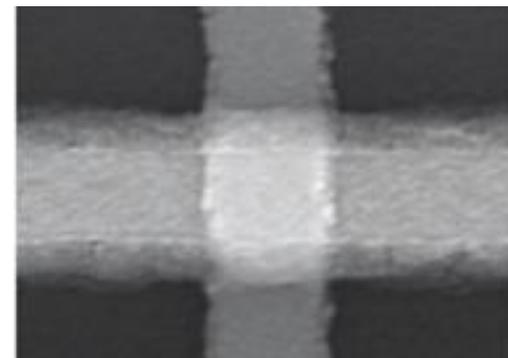
Low Resistant State - $R_{on} < R_{off}$



(a) Схема химического синапса, чья функция может быть смоделирована мемристором.

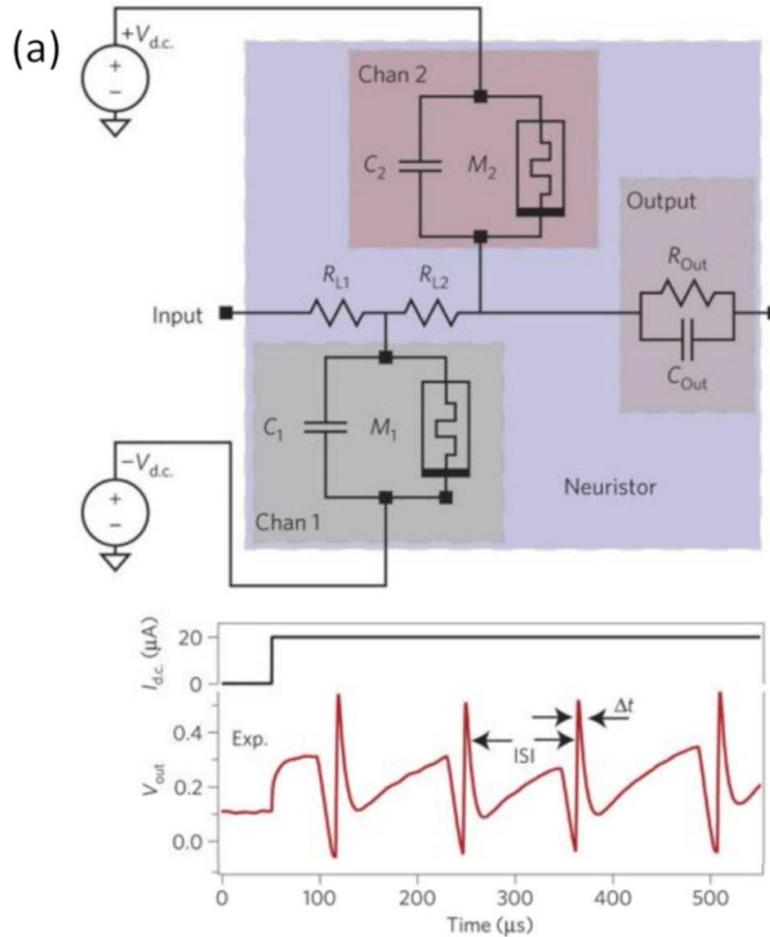
(b) Схема идеализированного мемристора, в котором твердый электролит помещен между двумя электродами
 J. Appl. Phys. 124, 152003 (2018)

(c)

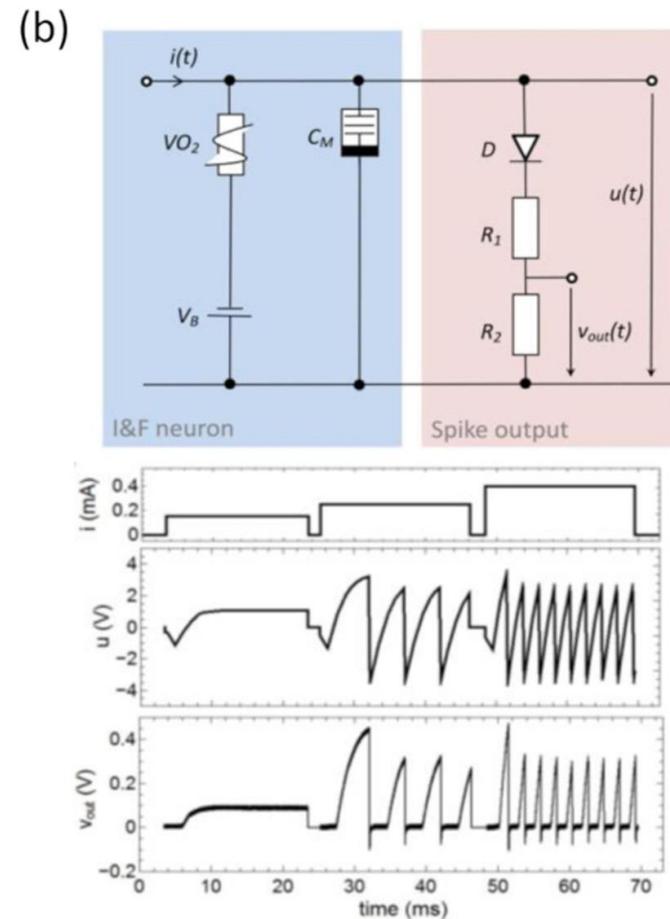


с) мемристор в кроссбар-геометрии

Примеры построения схем нейристоров на мемристорах, которые имитируют утечки, интегрируют и запускают всплески нейронов



Nat. Mater. 12(2), 114–117 (2013)



Front. Neurosci. 9, 376 (2015)

Энергонезависимые мемристорные структуры на основе Ta_2O_{5-x} . Планы

Будут созданы энергонезависимые мемристорные структуры на основе Ta_2O_{5-x} в кроссбар-геометрии с применением благородных, химически активных металлов, а также прозрачных проводящих электродов в качестве контактов мемристора.

Будут созданы синапторы на основе энергонезависимых мемристорных структур, созданных на основе Ta_2O_{5-x} как новые типы элементной базы нейроморфных систем искусственного интеллекта.

В зависимости от типа металла контактов будет исследована способность таких структур изменять сопротивление при подаче следующего импульса в зависимости от предыдущего значения сопротивления синаптора, синаптическая пластичность, что имитирует поведение памяти синапсов головного мозга.

Наш задел

О. А. Новодворский, Л. С. Паршина, А. А. Лотин, В. А. Михалевский, О. Д. Храмова, Е. А. Черобыло, В. Я. Панченко «Мемристоры на основе диоксидов ванадия и титана, полученные методом импульсного лазерного осаждения» Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2018, № 4, с. 31–37.