

АННОТАЦИЯ

В выпускной научно-квалификационной работе рассмотрены теоретические и практические аспекты создания искусственных нейронов для аналоговых импульсных нейронных сетей с использованием диоксида ванадия. Аналоговые импульсные нейронные сети являются перспективным инструментом для создания алгоритмов машинного обучения.

Диоксид ванадия является перспективным материалом для использования в импульсных нейронных сетях. Диоксид ванадия – сильнокоррелированный электронный материал, обладающий свойством фазового перехода диэлектрик – металл при 68С. Данный фазовый переход сопровождается изменением зонной структуры и значительным изменением электрической проводимости – до 5 порядков. Как показывают исследования, время такого перехода составляет несколько десятков фемтосекунд.

В первой части работы было проведено численное моделирование нанопереклюателей на основе диоксида ванадия. Была разработана модель фазового перехода на основе кусочно-определенной функции, что дало возможность применения ее в методе конечных элементов. На основе разработанной модели проведено моделирование двухконтактного переключателя на основе нанокристалла диоксида ванадия на кремниевой подложке. Проведенное моделирование показало, что переключение в диоксиде ванадия происходит посредством образования токового филамента. За счет положительной тепловой обратной связи такое переключение носит лавинный характер и обеспечивает высокую скорость переключения.

Во второй части работы исследовались процессы зарождения пленки диоксида ванадия при росте методом химического осаждения из газовой фазы. Качественно исследована кинетика зарождения и роста пленки VO₂ на поверхностях Al и SiO₂ в зависимости от времени, температуры синтеза и концентрации прекурсора в зоне реакции. Было показано, что, варьируя концентрацию прекурсора, можно эффективно регулировать кинетику зарождения кристаллов VO₂ на поверхности SiO₂. Были продемонстрированы три режима роста VO₂ на структурированных подложках Al/SiO₂ в зависимости от условий синтеза: отсутствие пространственной селективности, при котором непрерывная пленка растет по всей поверхности подложки; полная селективность по площади, при которой

пленка растет только на Al площадках; и промежуточное состояние, при котором зародышеобразование на SiO₂ отсутствует только вблизи Al площадок. Соотношение сопротивлений до и после фазового перехода в пленках VO₂, синтезированных на поверхностях SiO₂ и Al, существенно зависит от температуры синтеза, но практически не зависит от концентрации прекурсора в газовой фазе. Лучшие структуры демонстрируют коэффициент сопротивления более чем в 10³ раза. Полученные результаты являются важным шагом на пути к контролируемому селективному росту, что необходимо для разработки высокоэффективных нейроморфных устройств на основе VO₂, сформированных на платформе Si.

Исполнитель (Ф.И.О.): Багочюс Евгений Кястутисович

Наименование выпускной научно-квалификационной работы: «Резистивные переключения на основе обратимого фазового перехода полупроводник-металл в диоксиде ванадия, перспективные для аналоговой импульсной нейронной сети».

Объект исследования: нанокристаллы диоксида ванадия.

Цель: формирование, изучение и разработка дизайна переключателей на основе нанокристаллов VO₂, перспективных для искусственных нейронных сетей.

Методы исследования: компьютерное моделирование, измерение вольт-амперных характеристик, электронная микроскопия, атомно-силовая микроскопия, рентгеновская дифракция.

Теоретическая/практическая значимость исследования:

1. Разработана модель фазового перехода в диоксиде ванадия, пригодная для использования в расчетах методом конечных элементов.
2. Определены закономерности и основные механизмы зарождения кристаллов VO₂ при росте методом MOCVD, в зависимости от параметров синтеза и материала подложки.

Новизна результатов заключается в том, что впервые теоретически/практически:

1. Разработана вычислительная модель фазового перехода, индуцированного джоулевым нагревом, охватывающая как металлическую, так и изолирующую фазы диоксида ванадия.

2. Разработан и продемонстрирован пространственно-селективный синтез диоксида ванадия на структурированных подложках Al/SiO₂ методом MOCVD и предложено качественное объяснение протекающих процессов зародышеобразования.

Степень и эффективность внедрения: нет

Область применения: импульсные нейронные сети

СПИСОК КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ: импульсные нейронные сети, диоксид ванадия, фазовый переход полупроводник-металл, пространственно селективный синтез.