

Рост упорядоченного массива вертикальных нанопроволок VO₂

С.В. Мутилин^{1*}, В.Я. Принц¹, В.А. Селезнев¹, Л.В. Яковкина²

¹Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН

²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН

*E-mail: mutilin@isp.nsc.ru

DOI:10.31868/RFL2018.23-24

Диоксид ванадия (VO₂) с сильно коррелированными электронами является интеллектуальным материалом, претерпевающим резкий, обратимый фазовый переход полупроводник-металл под действием температуры, электричества, излучения, механических напряжений [1]. Во время фазового перехода оптические, электрические и механические свойства VO₂ испытывают значительные изменения. Такие уникальные свойства перехода могут быть использованы в микро/нанoeлектронных устройствах и фотонных приложениях, таких как перестраиваемые метаматериалы, оптические ограничители, ультрабыстрые оптические переключатели, фотонные кристаллы [2].

В последние годы наблюдается устойчивая тенденция исследования одиночных монокристаллов VO₂. Проведенные исследования показывают, что монокристалл VO₂ имеет более яркие свойства фазового перехода. Действительно, переход от поликристаллической структуры к монокристаллической за счет отсутствия межзеренных границ позволяет на несколько порядков увеличить число повторений, которое превосходит 10¹⁰[3]. Более того, в отличие от поликристаллической пленки с шириной гистерезиса около 3-5 К, в монокристалле ширина гистерезиса сужается до 1-3К [4]. Такой резкий скачок достигается за счет того, что фазовый переход в монокристалле от фазы М в фазу R и обратно идет единым фронтом, в отличие от перехода в поликристаллической пленке, где переход идет перколяционно [5].

До сих пор исследовались единичные монокристаллы VO₂ расположенные на подложках в случайном месте и имеющие случайные размеры в результате синтеза. Очевидно, что для практического применения нужны упорядоченные массивы одинаковых монокристаллов, расположенные в заданном месте и заданных размеров. Такие объекты являются метаповерхностями в ИК и ТГц областях, и могут быть использованы при создании умных метаматериалов, фотонных кристаллов и пр. В данной работе сообщается о формировании упорядоченного массива монокристаллических нанопроволок VO₂ с помощью селективного роста на периодических 3D структурах кремния полученных с помощью наноимпринт-литографии.

Массивы нанопроволок VO₂ были выращены с помощью газофазной эпитаксии с использованием прекурсора ванадила ацетилацетата на наноструктурированной подложке [6]. Наноструктурирование подложки было выполнено при помощи наноимпринт литографии на больших площадях (около 15x15 см) кремниевой пластины. Кристаллы VO₂ преимущественно растут на литографических квадратах размерами 80x80 нм² нормально к поверхности, наследуя наноструктуру поверхности. Выращенные нанопроволоки состоят из одинаково ориентированных нанокристаллов высотой около 500 нм. Кристаллы VO₂ растут в направлении [100]. Это же подтверждает огранка кристаллов типичная для этого направления (Рис. 1).

Такие структуры перспективны в качестве новых устройств в основе которых лежит фазовый переход VO_2 поскольку массивы представляют собой монокристаллы без межзеренных границ, они имеют малую площадь контакта с подложкой (что увеличивает долговечность устройств от разрушения вплоть до бесконечности) и дают полную интеграцию в современные 2D и 3D интегральные схемы (совместимы с кремниевой технологией).

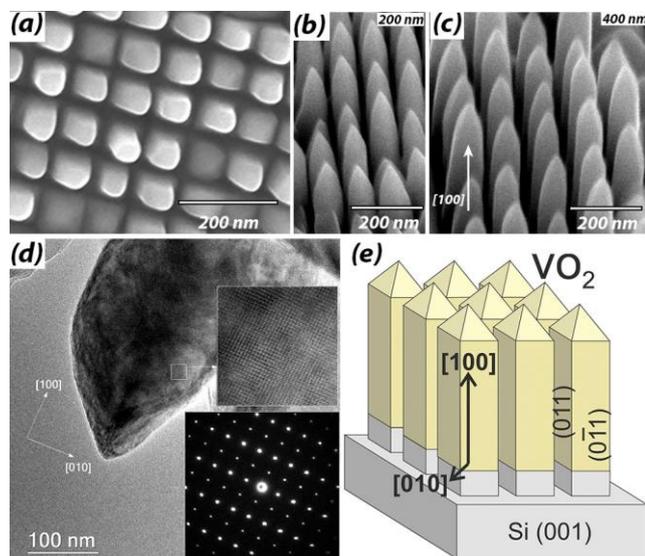


Рис. 1. СЭМ изображения упорядоченного массива нанопроволок VO_2 . (а) Вид сверху, (b), (c) Вид сбоку массива нанопроволок полученных после 2-х и 4-х часов синтеза соответственно (d) ПЭМ изображение отдельной нанопроволоки VO_2 показывающее монокристалличность и направление роста $[100]$ (e) Схематичное представление массива нанопроволок VO_2 на наноструктурированной поверхности кремния.

Таким образом, в данной работе мы представляем качественный переход от изучения одиночных, случайно выращенных кристаллов VO_2 к формированию и изучению прецизионных массивов одинаковых нанокристаллов VO_2 с контролируемым местоположением, периодом, размером, ориентацией, составом и пр. Эта работа перспективна для практических применений. Например, можно интегрировать эти массивы в кремниевую схемотехнику и соединять заданные столбики с другими столбиками или формировать более сложные гетероструктуры. С массивами можно работать и дальше используя стандартную полупроводниковую технологию. Например, можно делать их тоньше селективным травлением. Закручивать пленку массива во внутрь или наружу. Перспективы работы не с одним кристаллом, а с целым массивом, периодическим, непериодическим, градиентным, с разной толщиной и высотой. Открывается целый спектр практических применений. Полученные массивы вертикальных столбиков перспективны для формирования умных метаматериалов, фотонных кристаллов чувствительных к температуре, свету, механическим напряжениям и пр.

Литература

- [1] N. Davila, R. Cabrera and N. Sepulveda, *IEEE Photonic Tech L* **24** (20), 1830-1833 (2012).
- [2] H. W. Liu, J. P. Lu and X. R. Wang, *Nanotechnology* **29** (2) (2018).
- [3] I.P. Radu, et.al., *Nanotechnology* **26**, 165202 (2015)
- [4] B. S. Mun, et.al., *Physical Review B* **84** (11) (2011).
- [5] Y. J. Chang, et.al., *Physical Review B* **76** (7) (2007)
- [6] L. V. Yakovkina, et.al., *J Mater Sci* **52** (7), 4061-4069 (2017)