Моделирование роста нанопроволок $A^{III}B^V$ методом импульсной эпитаксии

А.Г. Настовьяк¹⁾, Н.Л. Шварц²⁾

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

Новосибирск, 630090, пр. Ак. Лаврентьева, 13

²⁾ НГТУ, Новосибирск, 630073, пр. К.Маркса, 20

тел: +7 (383) 333-1475, факс: +7 (383) 333-2771, эл. почта: alla@isp.nsc.ru

DOI 10.34077/RCSP2019-20

Полупроводниковые нанопроволоки (НП) из материалов $A^{III}B^V$ могут использоваться в качестве базовых элементов различных оптоэлектронных устройств: лазеров, светодиодов, солнечных элементов. Ключевой технологией создания НП на основе $A^{III}B^V$ является самокаталитический рост по механизму пар-жидкость-кристалл. В качестве капли-затравки для такого роста используется один из составляющих растущего кристалла (металл III группы), а скорость роста лимитируется потоком частиц V группы. Длина нанопроволоки в условиях такого роста ограничивается длиной диффузии элемента III группы по боковой поверхности НП. Для продления самокаталитического роста и получения нанопроволок с большим отношением длина/диаметр была предложена методика импульсной эпитаксии [1], состоящая в попеременном включении и выключении потоков элементов III и V групп. Такой подход позволяет увеличить длину диффузии элементов III группы по боковым стенкам НП.

В настоящей работе представлены результаты Монте-Карло моделирования импульсного самокаталитического роста НП $A^{III}B^V$ на основе предложенной ранее модели каталитического и самокаталитического роста GaAs НП [2]. Было проведено сравнение аксиальной и радиальной скоростей роста НП, полученных в разных режимах импульсного роста. Было рассмотрено два варианта импульсного роста: 1) поток мышьяка прерывается при постоянном потоке элемента группы III; 2) поток мышьяка постоянен, поток элемента группы III модулируется. Скорость аксиального роста была на порядок выше радиального для обоих режимов импульсного роста. Скорость радиального роста НП в режиме модуляции потока мышьяка ниже, поэтому этот режим представляется оптимальным из двух рассмотренных импульсных режимов.

Проведено исследование влияния длительности импульсов потока мышьяка и пауз между ними на морфологию нанопроволок на примере роста НП GaAs. Показано, что слишком длительное прерывание потока мышьяка не только не улучшает характер роста, но и приводит к его прекращению. При наличии обоих потоков (Ga и As₂), на границе раздела жидкость-кристалл идут два разнонаправленных процесса – кристаллизация арсенида галлия и его обратное растворение в каплю, причем интенсивности потоков подобраны так, чтобы кристаллизация преобладала над растворением. При выключении потока мышьяка, после протекания переходных процессов, кристаллизация отсутствует, поэтому уже выросшая нанопроволока постепенно растворяется в капле и сквозь жидкую фазу испаряется. Это приводит к «обратному» росту НП – ее длина не увеличивается, а уменьшается. Этот эффект был ранее предсказан теоретически в работе [3]. Таким образом, если пауза в потоке мышьяка слишком велика, то НП не только не удлинится, но и может исчезнуть совсем. Было продемонстрировано, что слишком большая длительность импульса мышьяка тоже отрицательно сказывается на характере роста – это приводит к преждевременной кристаллизации капли-затравки и остановке роста. Таким образом с помощью моделирования был проведен поиск оптимальных временных интервалов включения/выключения источников материалов для роста длинных и однородных по диаметру нанопроволок GaAs.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№ 18-02-00764).

Литература

- [1] L.Balaghi et al. // Nano Lett. 2016. V.16. P.4032 -4039.
- [2] М.В.Князева и др. ФТП. 2015. Т.49, в.1. С.63-70.
- [3] В.Г.Дубровский и др. ФТП. 2009. Т.43, в.9. С.1263-1274.