

## **Аннотированный отчет по проекту**

государственный контракт от 15 июня 2011 г. №14.740.11.1230

Шифр:	2011-1.3.2-207-008
Период выполнения этапа	Начало 15 июня 2011 г., окончание – 26 ноября 2012 г.
Исполнитель:	Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт автоматике и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток
Цель работы	Изучение свойств наноструктур, сформированных с использованием процессов самоорганизации на поверхности кремния в условиях сверхвысокого вакуума, а также методов управления их свойствами с целью использования таких объектов в качестве элементов для полупроводниковой наноэлектроники.

### **1. Наименование разрабатываемой научной продукции**

Формирование двумерных металлических сплавов и гибридных металл-фуллереновых структур на поверхности кремния.

### **2. Основные результаты проекта**

Процессы формирования структур и изучение их свойств проводились в контролируемых условиях сверхвысокого вакуума, при этом давление остаточной атмосферы в вакуумной камере составляло не более  $2 \times 10^{-9}$  Тор. Для приготовления исследуемых наноструктур использовались химически-чистые вещества высокой степени очистки (не менее 99,9%). Для создания структур использовались специфические особенности поверхностных процессов, таких как адсорбция, поверхностные химические реакции, локальная десорбция, осаждение металлов и полупроводников, включая явление самоорганизации, а также процессы в зоне воздействия локальными зондами. Разработанные методы обеспечили повторяемое получение наноструктур со следующей номенклатурой параметров:

- плотность атомных дефектов не более одного на  $1000 \text{ нм}^2$  для монослоев адсорбата различной плотности на поверхности металлов и полупроводников;
- дисперсия размеров атомных кластеров в упорядоченных массивах не более 20 % от среднего размера кластера;
- длина одномерных атомных цепочек на поверхности металлов и полупроводников не менее 100 нм.

Методы исследования поверхности и формирующихся наноструктур включают в себя сканирующую туннельную микроскопию (СТМ), предназначенную для анализа морфологии, структурного устройства полупроводниковых поверхностей; дифракцию медленных электронов (ДМЭ) для исследования кристаллических структур и их эволюции в процессе формирования наноструктур на поверхности. Для измерения электрической проводимости использовался четырёхзондовый метод, адаптированный к работе в сверхвысоком вакууме.

В результате выполнения проекта в рамках НИР были проведены следующие исследования:

Исследована электрическая проводимость системы (Au,In)/Si(111). Показано, что напыление порядка 0,7-0,8 монослоя индия при комнатной температуре на реконструированную поверхность  $\text{Si}(111)\sqrt{3}\times\sqrt{3}\text{-(Au,In)}$  приводит к увеличению проводимости образца примерно в 2,5 раза. Показана зависимость изменений проводимости от механизма роста пленки золота.

Исследования электрической проводимости показали, что удаление доменных стенок на поверхности  $\text{Si}(111)\sqrt{3}\times\sqrt{3}\text{-Au}$  приводит к увеличению проводимости в 1,5 раза. Внедрение дефектов в поверхность  $\text{Si}(111)\sqrt{3}\times\sqrt{3}\text{-(Au,In)}$  путем экспозиции в атмосфере кислорода приводит к падению проводимости поверхности в 2 раза.

Показано, что среди известных поверхностных фаз индия фазы  $\text{Si}(111)\sqrt{3}\times\sqrt{3}\text{-In}$  и  $\text{Si}(111)\sqrt{7}\times\sqrt{3}\text{-In}$  позволяют вырастить наиболее однородные пленки золота с большой проводимостью.

Были проведены исследования адсорбции фуллеренов C<sub>60</sub> на Si(111)- $\alpha$ - $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Au и её модификацию Si(111)-h- $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -(Au,In) методом СТМ. На обеих реконструкциях фуллерены образуют плотноупакованный молекулярный слой. В тоже время фуллерены внутри одного слоя отображаются с различным СТМ контрастом. В случае Si(111)- $\alpha$ - $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Au данный контраст является отображением сети доменных стенок исходной структуры, а в случае Si(111)-h- $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -(Au,In) он определяется положением части фуллеренов слоя в симметричных позициях относительно структуры подложки.

Исследована морфология и электрическая проводимость поверхностей Si(111) $\sqrt{3}$ -Au и Si(111) $\sqrt{3}$ -Ag, предварительно покрытых C<sub>60</sub> фуллеренами при напылении Au и Ag. В обоих случаях напыляемые атомы металлов проникают сквозь слой фуллеренов. Напыление Au на предварительно покрытую фуллеренами поверхность Si(111) $\sqrt{3}$ -Au приводит к постепенному увеличению проводимости, начиная с покрытия Au  $\sim 0.4$  МС. Напыление Ag на предварительно покрытую фуллеренами поверхность Si(111) $\sqrt{3}$ -Ag приводит к скачкообразной зависимости проводимости с максимумом при Ag  $\sim 0.5$  МС. В обоих случаях поведение проводимости может быть объяснено тем, что фуллерены ведут себя как акцептор, захватывая электроны, донированные атомами Au или Ag.

### **3. Назначение и область применения результатов проекта**

Разработанные в результате проведения НИР методы приготовления исходной поверхности с требуемой морфологией и реконструкцией, а также управления её химической активностью и электронными свойствами путём контролируемого формирования низкоразмерных систем заданного состава и атомной структуры будут иметь важное практическое значение. Результаты работы можно считать научно-техническим заделом по технологии формирования структур атомного масштаба с использованием самоорганизации атомов адсорбатов на поверхности полупроводниковых кристаллов в условиях сверхвысокого вакуума. Такие системы могут быть использованы как элементы памяти, активные элементы интегральных схем и межсоединений для

твердотельной наноэлектроники. Научные результаты, экспериментальные методы, методики исследований могут найти применение при разработке учебных пособий, методических материалов, которые могут быть использованы в учебном процессе в рамках специальности «Наноматериалы».

#### **4. Выводы**

Проведение научно-исследовательской работы по теме «Формирование двумерных металлических сплавов и гибридных металл-фуллереновых структур на поверхности кремния» можно считать успешной. Результаты, полученные в ходе выполнения НИР, являются актуальными и соответствуют мировому уровню.

Руководитель работ по проекту

Аспирант \_\_\_\_\_ *Л.В. Бондаренко*

Директор ИАПУ ДВО РАН

академик \_\_\_\_\_ *Ю.Н. Кульчин*