

ФОТОЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ Si С МИКРОБАРЬЕРАМИ ШОТТКИ

Н.Ф. Зикриллаев¹
 Р.П. Бабаходжаев¹
 Э.Б. Саитов²
 О.Жураев^{1,2}

Ташкентский государственный технический университет
 Ташкентский университет прикладных наук
 elyor.saitov@mail.ru

<https://doi.org/10.5281/zenodo.13444446>

Как показано в работах [1, 2] в условиях низкотемпературного и многоэтапного легирования кремния, атомы никеля в решетке создают кластеры. Управляя условиями легирования можно варьировать размеры таких кластеров в широком интервале 0,1÷5 мкм. Особенностью таких кластеров атомов Ni заключается в том, что они распределены по всему объему кристалла (рис.1), их плотность в зависимости от условия легирования составляет $N_s=10^6\div 10^7\text{см}^{-2}$ и соответственно концентрация $N_v=10^{10}\div 10^{12}\text{см}^{-3}$. На основе результатов исследования микрозондового анализа на установке Joel super probe YXA-8800R/RL, определен состав таких кластеров, которые в основном состоит из атомов никеля (50÷60%), кремния (25÷30%) и кислорода (~10÷15%) и такой кластер имеет металлическую проводимость. Поэтому можно предполагать, что каждый кластер создает микродиоды Шоттки. Особенности таких

Шоттки диодов являются в первых, они существуют по всему объему, т.е. можно получить «захороненных» диодов Шоттки с достаточно высокой концентрацией, во вторых, они являются практически идеальной без поверхностных состояний.

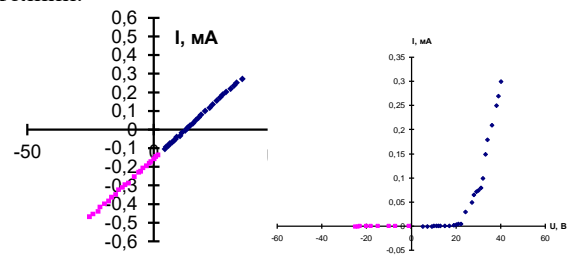


Рис. 2. Вольтамперная характеристика снятая с различных точек поверхности образца кремния со

Таблица-1.

| Температура, °C | 1250 | 1150 | 1100 | 1050 | 1000 | 900 | 800 | 700 | 650 | 600 | 500 |
|---|----------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| Растворимость, см ⁻³ | 4·10 ¹⁷ | 2·10 ¹⁷ | 6·10 ¹⁶ | 2,6·10 ¹⁶ | 1,4·10 ¹⁶ | 1,4·10 ¹⁵ | 8·10 ¹⁴ | 2·10 ¹³ | 3,7·10 ¹² | 7·10 ¹¹ | 1,3·10 ⁹ |
| Коэффициент диффузии, см ² /сек | 5,7·10 ⁻⁵ | 4·10 ⁻⁵ | 2,8·10 ⁻⁵ | 2,5·10 ⁻⁵ | 2,2·10 ⁻⁵ | 2·10 ⁻⁵ | 10 ⁻⁵ | 8·10 ⁻⁶ | 6·10 ⁻⁶ | 4·10 ⁻⁶ | 2·10 ⁻⁶ |
| Коэффициент перенасыщенности | 0 | 2 | 7 | 15 | 29 | 290 | 500 | 2·10 ⁴ | 10 ⁵ | 6·10 ⁵ | 2,6·10 ⁸ |
| Необходимое время формирования кластеров, сек | - | 5·10 ⁻⁴ | 7·10 ⁻² | 1,6·10 ⁻² | 7,8·10 ⁻¹ | 7,5 | 30 | 2,5·10 ³ | 4·10 ⁴ | 4·10 ⁵ | 5·10 ⁸ |
| Концентрация кластеров | - | 2·10 ¹⁷ | 6·10 ¹⁶ | 2,6·10 ¹⁶ | 1,4·10 ¹⁶ | 1,4·10 ¹⁵ | 8·10 ¹⁴ | 2·10 ¹³ | 3,7·10 ¹² | 7·10 ¹¹ | 1,3·10 ⁹ |
| Размер | - | Молекула Ni ₂ | 0,5 нм | ~1нм | 1,5÷2 нм | 10 нм | 15÷20 нм | >150 нм | ~1мкм | ~3÷5 мкм | > 10 мкм |

В таб. 1 приведены теоретические расчеты, показывающие различные характеристики кластеров в кремнии легированного никелем, их размер, концентрацию, а также число атомов в кластерах.

Как видно из таблицы управляя технологическими условиями, можно получать кластеры с размерами от 0,5 нм до 100 мкм с концентрацией от 10¹² до 10¹⁶ см⁻³, при этом число атомов в таких кластерах может меняться от

несколько десятков атомов до миллиона, т.е. можно формировать кластеры с необходимыми параметрами.

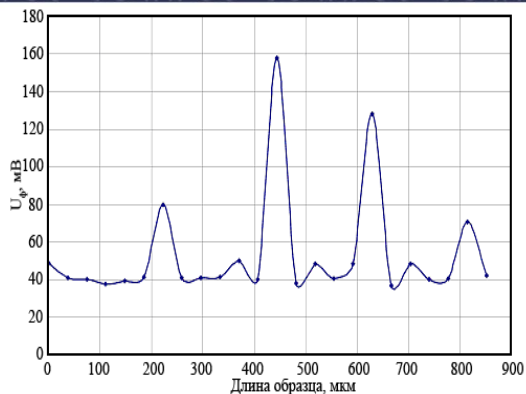


Рис. 3. Фото-ЭДС структур кластер атомов Ni-кремний

Для исследования ВАХ микродиодов Шоттки были изготовлены тонкие вольфрамовые зонды с диаметром острия зонда $d \approx 1$ мкм и установка

| № | Фотоэлемент Si <P> | КПД, (%) | |
|----|--------------------|---|---|
| | | Si на основе фотоэлемент <P;Ge> | |
| | | Фотоэлемент без микрогетеро перехода SiGe | Плотность кластера $3 \times 10^5 \text{ см}^{-2}$ в микрогетеро перехода SiGe. |
| 1. | 16,1 | 16,9 | 18,6 |
| 2. | 16,3 | 16,7 | 18,8 |
| 3. | 15,9 | 16,8 | 18,7 |
| 4. | 16,2 | 16,5 | 18,5 |
| 5. | 16,2 | 16,9 | 18,9 |
| 6. | 16,1 | 16,8 | 18,5 |

Исследование фотоэлектрических свойств микродиодов Шоттки показало, что такие структуры обладают достаточно высоким фото напряжением при комнатной температуре и в зависимости от параметров кластера (размер, глубина нахождения и т.д.) оно составляет $V_{xx} \sim 100 \div 200$ мВ (ток короткого замыкания $I = 2 \cdot 10^{-6}$ А) (рис. 3). Эти данные показывают, что в образцах Si с плотностью таких микроструктур $N \sim 10^5 \div 10^6 \text{ см}^{-2}$ соединяя последовательно или параллельно можно создать интегральные фотоэлементы. Если соединить последовательно электрическое напряжение может составить $U_{xx} = 1,6 \cdot 10^4$ В, а при параллельном соединении электрический ток может достичь значения $I_{кз} = 0,2$ А.

Объемное распределение микроструктур препятствуют созданию интегральных фотоэлементов, так как они шунтируются между собой в объеме кремния. Поэтому, целесообразно создание таких микроструктур на поверхности кремния. При этом надо воспользоваться приемами используемые при создании интегральных элементов.

Каждый элемент должен создаваться в изолированных кармашках. Если плотность тока для солнечных элементов составляет 20 А/см^2 , то необходимая площадь для получения значения тока короткого замыкания $I = 2 \cdot 10^{-6}$ А с одного микроэлемента составляет 10 мкм. Это значение

позволяющая исследовать ВАХ каждой точки по поверхности образца с шагом около $5 \div 6$ мкм. Результаты исследования ВАХ показали, что некоторые точки имели линейный характер, что и свидетельствует об отсутствии Шоттки диодов, а некоторые точки ВАХ имеют нелинейный характер (рис. 2). Как видно, ток при прямом смещении увеличивается по экспоненциальному закону, а при обратном смещении ток имеет значение, меньше микроампера и практически в исследуемой области электрического поля существенно не изменяется. Аналогичная ВАХ получена для других точек. Полученные результаты дают возможность предполагать, о наличии микро барьеров Шоттки с практически идеальным ВАХ.

совпадает с полученными результатами. Если диаметр кремниевой пластинки составляет 10 см, то площадь данной пластинки составляет $S = 715,7 \cdot 10^9 \text{ мкм}^2$. При использовании 50% данной площади мы можем создать $7,85 \cdot 10^8$ микросолнечных элементов. Если будем считать что каждый микросолнечный элемент вырабатывает фотонапряжение $V_{xx} = 100$ мВ, то при последовательном соединении напряжение должно составлять $7,85 \cdot 10^7$ В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. М.К. Бахадырханов, К.С. Аюпов, Э.У. Арзукулов, С.Н. Сражев, Т.У. Тошбоев // Термические свойство кремния с кластерами атомов никеля // Физика.–Томск, 2008.– № 3 (11).– С.170-172.
2. М. К. Бахадырханов, Х. М. Илиев, К. С. Аюпов, Б. А. Абдурахмонов, П. Ю. Кривенко, Р. Л. Холмухамедов Самоорганизация примесных атомов никеля в кремнии // Неорганические материалы, 2011, том 47, № 9, с. 1062–1064.