



МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ КЛАСТЕРОВ ПРИМЕСНЫХ АТОМОВ НИКЕЛЯ И ФОСФОРА

Кулумбетов Адилбек Сайт-Муратович¹, Кенжаев Зоир Тохир угли², Исмаилов Байрам Канатбаевич³

¹Чирчикский Государственный педагогический университет

²Ташкентский Государственный технический университет

³Каракалпакский Государственный университет

<https://doi.org/10.5281/zenodo.13378779>

Аннотация: В этой работе показаны результаты исследования кремниевой пластины в которую внедрены примесные атомы никеля и фосфора методом диффузионного легирования. Исследование методом Ван дер Пау показало, что удельное сопротивление образцов $\rho=0,14 \text{ }\Omega\cdot\text{см}$, концентрация дырок $n_p=9\cdot 10^{17}/\text{см}^3$, подвижность $\mu_p=51 \text{ см}^2/\text{v}\cdot\text{с}$. Топографические снимки электростатической силовой микроскопии показали, что на поверхности пластины наблюдается нанокластеры примесных атомов размером от 50 до 500 нм.

Ключевые слова: Кремний, фотоэлемент, легирование никелем, электростатическая силовая микроскопия, диффузия, термоотжиг, кластер.

ВВЕДЕНИЕ

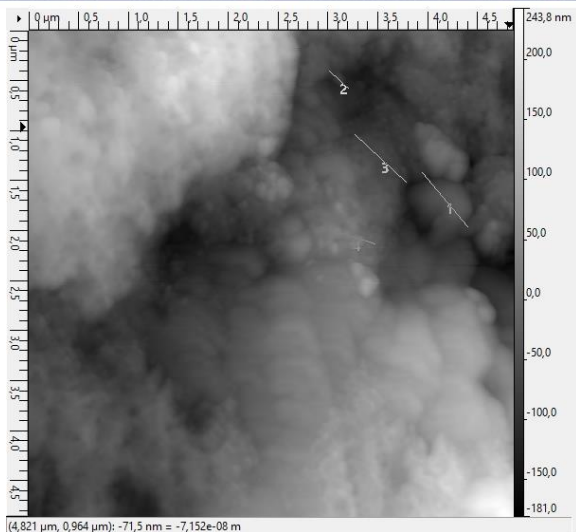
В связи с глобальным потеплением и нехватки энергии вырабатываемых на основе традиционных природных источников, требуется разработка новых методов получения возобновляемых источников энергии. Создание эффективных фотоэлементов с заданными электрофизическими параметрами на основе полупроводниковых материалов является актуальной задачей. Многими учеными ведутся работы по разработке и созданию фотоэлементов на основе кремния легированные примесными атомами фосфора, бора, никеля и др. Однако параметры фотоэлементов на основе кремния с кластерами примесных атомов мало изучены. Современные методы такие как атомно-силовая микроскопия (АСМ) и электростатическая силовая микроскопия (ЭСМ) позволяет проводить такие исследования на наноразмерном масштабе. В работе [1] авторами приводятся результаты исследования солнечных элементов на основе монокристаллического кремния, в котором показаны результаты исследования по распределению потенциала p-n перехода в кремниевых фотоэлементах, изменение поверхностного потенциала в зависимости от приложенного напряжения смещения. С помощью Кельвин-зондовой силовой микроскопии определены значения поверхностного потенциала и работа выхода электронов из полупроводниковых и металлических материалов [2].

Авторами показано, что термоотжиг кремния при высоких температурах в течении длительного времени значительно ухудшает контрастность снимков ЭСМ, а шероховатость и морфология

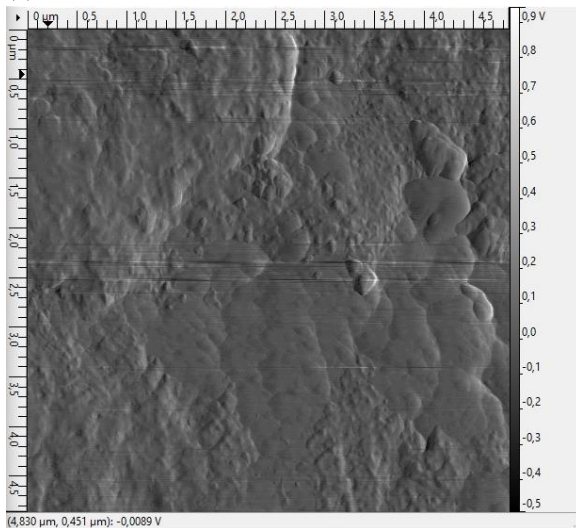
поверхности изменяется гораздо меньше [3]. В работе [4] авторами показано, что значение поверхностного потенциала полученных фотоэлементов сильно зависит от интенсивности, но не зависит от длины волны монохроматического излучения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

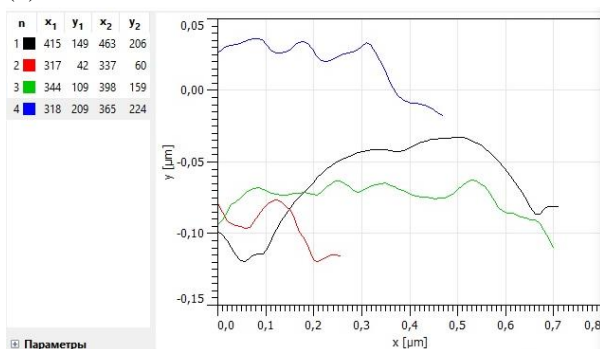
Для исследования использовались исходные кремневые пластины марки кремний дырочный легированный бором (КДБ) с удельным сопротивлением $\rho=0,5 \text{ }\Omega\cdot\text{см}$. Толщина пластинки составляла 380 $\mu\text{м}$, концентрация бора в исходном кремнии был равен $n=4\cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. В эти кремниевые пластины были внедрены примесные атомы никеля методом диффузии из газовой фазы при температуре $T=1200 \text{ }^\circ\text{C}$, в течении $t=1 \text{ ч}$, и с последующим диффузионным легированием примесных атомов фосфора при температуре $T=1000 \text{ }^\circ\text{C}$, в течении $t=1 \text{ ч}$. На лицевую сторону пластин были получены омические контакты напылением чистого никеля с толщиной 1 $\mu\text{м}$ при вакууме $p\approx 10^{-16} \text{ мм.рт.ст.}$ Также эти пластины подвергались к терм отжигу при температуре $T=800 \text{ }^\circ\text{C}$, с длительностью 30 мин. Были проведены измерения удельного сопротивления поверхности образца методом Ван дер Пау. Результаты измерения показали, что удельное сопротивление образцов равно $\rho=0,14 \text{ }\Omega\cdot\text{см}$, концентрация дырок $n_p=9\cdot 10^{17} / \text{см}^3$, подвижность $\mu_p=51 \text{ см}^2/\text{v}\cdot\text{с}$.



(a)



(b)



(c)

Рис. 1. ЭСМ снимки КДБ. (a) – Топография поверхности, (b) – Контактная разность потенциалов поверхности, (c) - Профильное сечение топографии.

Были проведены исследования (рис. 1.) полученных фотоэлементов с помощью электрической силовой микроскопии. На топографических снимках поверхности фотоэлементов наблюдается нанокластеры примесных атомов размером от 50 до 500 нм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.

Из анализа результатов исследования следует отметить, что на местах где разность значения поверхностного потенциала больше, а топографический рельеф глубже можно предположить, что в этих местах скопление (концентрация) примесных атомов никеля больше. Проводя серии ЭСМ исследования можно получить информацию о влиянии легирования примесного никеля на поверхностный потенциал. Прикладывание прямого смещения приводит расщеплению квази-уровней ферми, и в этом случае квази-уровни ферми электронов становятся выше чем у дырок, разница между ними равно произведению приложенного смещения на абсолютный заряд электрона. А также измеряя размеры частиц на поверхности и по глубине можно оценить влияние условия получения фотоэлементов на основе кремния, легированного примесными атомами никеля и фосфора, которые приводит к образованию нанокластеров состоящих из этих атомов

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Paul Narchi. Investigation of crystalline silicon solar cells at the nano-scale using scanning probe microscopy techniques. Micro and nanotechnologies/Microelectronics. Université Paris Saclay (COMUE), 2016. English.
- [2] Hosung Seo, Dan Goo, and Gordon Jung Park Systems Corp., Suwon, Korea, How to obtain sample potential data for KPFM measurement, Park Atomic Force Microscopy Application note #18.
- [3] Hai-Tong Sun, Zheng-Hao Li, Jing Zhou, You-Yuan Zhao, Ming Lu, An electrostatic force microscope study of Si nanostructures on Si(100) as a function of post-annealing temperature and time, Applied Surface Science, Volume 253, Issue 14, 2007, Pages 6109-6112, ISSN 0169-4332, <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2007.01.012>.
- [4] Paul Narchi, Gennaro Picardi, R. Cariou, Martin Foldyna, Patricia Prod'homme, Pere Cabarrocas. (2015). Kelvin Probe Force Microscopy Study of Electric Field Homogeneity in Epitaxial Silicon Solar Cells Cross-Section. 10.4229/EUPVSEC20152015-3BO.6.1.