

11-30-2020

INFLUENCE OF GAMMA-QUANTS ^{60}Co ON THE PHOTOELECTRIC PROPERTIES OF SILICON DOPED WITH NICKEL AND RHODIUM

S Zaynabidinov
Andijan State University

A O. Kurbanov
Andijan State University

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi>

Recommended Citation

Zaynabidinov, S and Kurbanov, A O. (2020) "INFLUENCE OF GAMMA-QUANTS ^{60}Co ON THE PHOTOELECTRIC PROPERTIES OF SILICON DOPED WITH NICKEL AND RHODIUM," *Scientific-technical journal*: Vol. 3 : Iss. 5 , Article 18.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi/vol3/iss5/18>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific-technical journal by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

УДК 621.315.592

INFLUENCE OF γ -QUANTS ^{60}Co ON THE PHOTOELECTRIC PROPERTIES OF SILICON DOPED WITH NICKEL AND RHODIUM**Zaynabidinov S., Kurbanov A.O.**

Andijan State University

ВЛИЯНИЕ γ - КВАНТОВ ^{60}Co НА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРЕМНИЯ ЛЕГИРОВАННОГО НИКЕЛЕМ И РОДИЕМ**Зайнабидинов С., Курбанов А.О.**

Андижанский государственный университет

Abstract. *The paper investigates the influence of γ -radiation on the photosensitivity of compensated silicon. It is shown that due to the introduction of clusters of Ni and Rh impurity atoms into p-type silicon, it is possible to obtain a photosensitive material that is radiation stable in terms of the specific integral current photosensitivity up to a dose of 4.5×10^8 R of ^{60}Co gamma radiation for Si <Ni> and for Si <Rh> $\sim 10^9$ R.*

Keywords: γ -radiation, photosensitivity, compensated silicon, cluster, radiation stability.

Аннотация. *В работе исследовано влияния γ -радиации на фоточувствительность компенсированного кремния. Показано, что благодаря путем введения кластеров атомов примеси Ni и Rh в кремний p-типа, можно получить фоточувствительный материал, радиационно стабильный по удельной интегральной токовой фоточувствительности до дозы $4,5 \cdot 10^8$ Р гамма-радиации ^{60}Co для Si<Ni> и для Si<Rh> $\sim 10^9$ Р.*

Ключевые слова: γ -радиация, фоточувствительность, компенсированный кремний, кластер, радиационная стабильность.

Повышение фоточувствительности кремния, предназначенных для изготовления на их основе фотоэлектрических приборов является одним из практически значимых задач современного полупроводникового материаловедения. Для достижения этой цели используются весьма разнообразные технологические приемы, включающие в себе термическую обработку [1], введение кластеров примесных атомов [2], радиационно-стимулирующее облучение [3], формирование дополнительных объемных барьеров [4] и т. п. Введением кластеров примесных атомов в объеме кремния позволяет создать объемно-наноструктурированные материалы, обладающие более широкими функциональными возможностями для электроники и фотоэнергетики [5], физические свойства которых еще недостаточно изучены. Поэтому компенсированный кремний с кластерами атомов примесей, привлекает интерес исследователей возможностью изготовления на его основе различных датчиков, обладающих повышенной термо – и радиационной стойкостью. Однако в зависимости фоточувствительности кремния от параметров кластеров атомов примесей и дозы облучения слабо изучена. В связи с этим представляет большой интерес исследования влияние γ - радиации ^{60}Co на фоточувствительности Si<Ni>, Si<Rh> и Si.

При исследовании влияния γ -радиации на фоточувствительность компенсированного кремния в качестве исходного материала использовался кремний n-типа с исходным удельным сопротивлением $\rho=3000$ Ом·см (для Ni) и p-типа с $\rho=10$ Ом·см (для Rh) выращенные методом Чохральского (содержание кислорода $(5 \div 10) \cdot 10^{17}$ см⁻³). Плотность дислокаций – в интервале $<10^4 \div 2 \cdot 10^4$ см⁻². Легирование кремния никелем осуществлялось термодиффузионным

методом в открытом объеме (на воздухе) из слоя Ni, нанесенного на поверхность пластинки кремния, в температуре 1050 °С в течение ~ 5 часов с последующим быстрым охлаждением (кварцевые ампулы с образцами вынимались из печи и охлаждались на воздухе, скорость охлаждения при этом составляла 300 град/мин), при этом получен перекомпенсированный кремний p-Si<P,Ni>. Для легирования использовали металлическую никель чистотой 99,99 %. Легирование родием осуществлялось также методом термодиффузии при ~1280 °С в течение 15 часов в открытой ампуле (на воздухе) с последующим охлаждением со скоростью 300 град/мин, при этом получен сильнолегированный кремний p-Si<B,Rh>.

Структурные дефекты в образцах Si<Ni> и Si<Rh> исследовались с помощью инфракрасного микроскопа. Исследования поверхности образцов проводились с использованием промышленного атомно-силового микроскопа (АСМ) „Solver - NEXT“, позволяющего измерять рельеф поверхности, распределение потенциала по поверхности.

Фотоэлектрические свойства образцов изучались путем измерения удельной интегральной токовой фоточувствительности (K) изготовленных структур, которая вычислялась по формуле [6]:

$$K = \frac{I_{\phi}}{ESU} \quad (1)$$

где $I_{\phi} = I_{cv} - I_{тем}$, I_{ϕ} – фототок и $I_{тем}$ – темновой ток, A ; E – освещенность (200 люкс), S – эффективная площадь, см²; U – напряжение, приложенное к образцу, B .

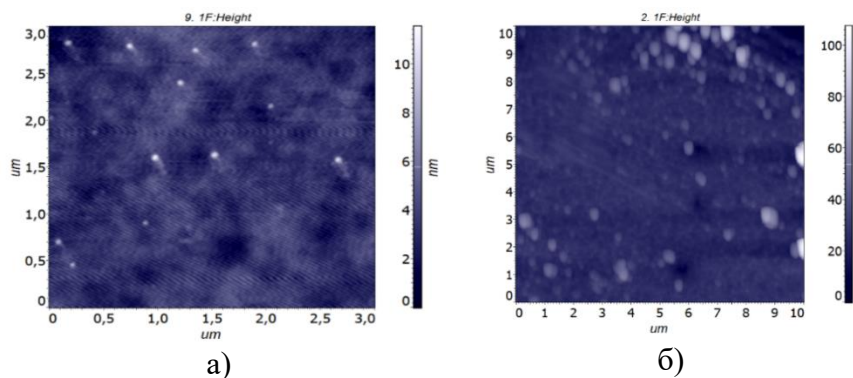


Рис.1. Двумерное изображение поверхности Si<Ni> (а) и Si<Rh> (б)

высота и ширина, которых равнялись $h \approx 8$ нм и $d \approx 30$ нм, соответственно. Такие островки формируются из компонентов твердого раствора Si<Ni> и Si<Rh>, и они являются квантовыми точками.

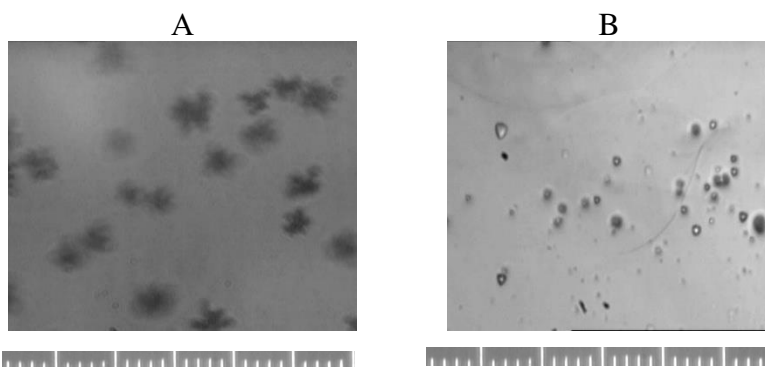


Рис.2. Микрофотография кремния, легированного никелем (а) и родием (б). (На вставке приведена микрометрическая шкала с шагом 10 мкм)

распределены по объему кристалла в виде цепочек. Эксперименты показывают, что вид и характер распределения этих структурных дефектов в легированном кремнии играют

На рис. 1 приведены результаты исследования морфологии рельефа поверхности образца Si<Ni> и Si<Rh> которые были полученные с помощью АСМ. Из рис.1 видно, что в поверхностной области Si<Ni> и Si<Rh> формируются островки

На рис. 2. Представлена микрофотография образцов Si<Ni> и Si<Rh>, в котором наблюдаются звездообразные дефекты, представляющие собой многочисленные взаимосвязанные кластеры атомов никеля вида шести- и четырехлепестковых розеток. Размеры этих кластеров достигают 10÷15 мкм, они

определяющую роль в формировании электрофизических и фотоэлектрических свойств легированного кремния при внешних воздействиях.

На рис. 3 приведены кривые относительного изменения удельной интегральной фоточувствительности исследованных структур. При этом для $\text{Si}\langle\text{Ni}\rangle$ $K \sim 1,7$ А/лм·В ($U=0,2$ В, $S=0,2$ см², $I_{\phi}=1,32 \cdot 10^{-3}$ А) и для $\text{Si}\langle\text{Rh}\rangle$ $K \sim 4,7$ А/лм·В ($U=0,2$ В, $S=0,16$ см², $I_{\phi}=3 \cdot 10^{-3}$ А).

Как видно из рисунка, с ростом дозы облучения по-разному повышается относительное изменение K в легированном кремнии до определенного дозы γ -радиации: чем больше растворимость и коэффициент диффузии примесей в кремнии, тем сильнее повышается K .

Как известно, фоточувствительность полупроводников связана со скоростью рекомбинации, которая, в свою очередь, зависит от концентрации и времени жизни носителей зарядов (τ).

В общем случае время жизни носителей ограничивается двумя каналами рекомбинации: обычным - через рекомбинационный центр, и "барьерным", с вероятностью $1/\tau_{\text{рек}}$ и $1/\tau_{\sigma}$, соответственно; поэтому:

$$1/\tau = 1/\tau_{\sigma} + 1/\tau_{\text{рек}} \quad (2)$$

В случае образца $p\text{-Si}\langle\text{B}\rangle$ рекомбинационным центром является вводимый радиацией дефектный центр (РЦ). Поэтому для $p\text{-Si}\langle\text{B}\rangle$

$$1/\tau = 1/\tau_{\sigma} + 1/\tau_{\text{РЦ}} \quad (3)$$

где $1/\tau_{\text{РЦ}} = \alpha\Phi$, т.е. пропорционально дозе облучения, по этому с ростом дозы облучения значение K в контрольном кремнии уменьшается.

Увеличение значения K (рис.3) в легированных образцах объясняется следующим образом. При диффузии никеля и родия в кремнии одновременно вводятся рекомбинационные центры, и с ростом концентрации атомов примеси исходная микронеоднородность по проводимости кремния повышается [7]. Известно, что с ростом степени компенсации в легированном материале растет барьер между высокоомными и низкоомными областями из-за неравномерной компенсации проводимости по объему образца. Неравномерное распределение атомов примесей дополнительно усиливает разброс концентрации носителей заряда.

В случае же $\text{Si}\langle\text{Rh}\rangle$, кроме введенных РЦ, имеется и примесный рекомбинационный центр М (с концентрацией в $10 \div 15$ раз большей, чем концентрация радиационных центров в исследованном интервале доз облучения). Поэтому здесь:

$$1/\tau = 1/\tau_{\sigma} + 1/\tau_{\text{РЦ}} + 1/\tau_{\text{М}} \quad (4)$$

При этом имеем:

$$1/\tau_{\sigma} \square 1/\tau_{\text{РЦ}} \square 1/\tau_{\text{М}} \quad (5)$$

а также

$$\left[d\left(\frac{1}{\tau_{\text{М}}}\right) / d\Phi \right] = 0, \quad (6)$$

поскольку в процессе облучения концентрация центров родия не изменяется.

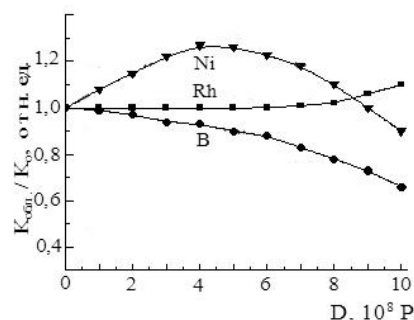


Рис.3. Зависимость относительного изменения удельной интегральной фоточувствительности исследованных p^+ -р структур от дозы γ -радиации в образцах $\text{Si}\langle\text{B}\rangle$; $\text{Si}\langle\text{Rh}\rangle$; $\text{Si}\langle\text{Ni}\rangle$.

Из выражений (3) и (4) следует, что дозовые зависимости времени жизни носителей в контрольном и легированном образцах принципиально различны. Следует отметить, что на начальных этапах облучения легированного кремния (когда концентрация РЦ (N_{PC}) значительно меньше концентрации основных носителей (N_p), т.е. $N_{PC} \ll N_p$ τ определяется величиной τ_M , поскольку τ_{PC} не приводит к существенному изменению τ (так как $1/\tau_{PC} \ll 1/\tau_M$). Поэтому до определенной дозы ($\sim 7 \cdot 10^8$ P; рис.1, кривая Rh) величина K почти не меняется. С увеличением дозы облучения (когда $N_{PC} \leq N_p$) τ увеличивается (в результате возрастания Δ), при этом τ_{PC} также существенно не влияет на изменение τ (так как $1/\tau_{PC} \ll 1/\tau_{\sigma}$). Поэтому для легированного кремния Si<Rh> можно не учитывать влияние τ_{PC} , тогда при определении τ имеем:

$$\tau = \tau_{\sigma} \tau_M / \tau_{\sigma} + \tau_M \quad (7)$$

При этом с ростом дозы (рис.1, до 10^9 P) значение K растет, поскольку оно теперь определяется, в основном, "барьерным" временем жизни τ_b .

В образцах Si<Ni> на начальном этапе облучения, когда уровень Ферми в низкоомных областях меняется незначительно, барьер между высокоомными и низкоомными областями повышается, тогда на времени жизни неосновных носителей заряда (τ) влияет барьерная рекомбинация (удельное сопротивление всех исследованных образцов – в интервале $(6 \div 8) \cdot 10^4$ Ом·см). Дальше основную роль играет барьер между p- и p⁺-областями. В интервале доз до $4,5 \cdot 10^8$ P фоточувствительность в образцах кремния, легированного никелем, возрастает по сравнению с контрольным кремнием (рис.3). С дальнейшим ростом дозы облучения, когда уровень Ферми в низкоомных областях изменяется, высота потенциального барьера снижается и, соответственно, рекомбинация через барьер уменьшается, основную роль начинают играть рекомбинационные центры. При $1/\tau_{\sigma} = 1/\tau_{рек}$ время жизни материала стабилизируется в определенном интервале доз облучения. В дальнейшем с ростом дозы облучения в образцах Si<Ni>, во-первых, благодаря большому коэффициенту диффузии и растворимости Ni, увеличивается концентрация электрически активных центров примесей в легированном кремнии; во-вторых, в результате возрастания концентрации РД с ростом дозы облучения низкоомные области становятся высокоомными, т.е. барьер между высокоомными и низкоомными областями понижается и роль рекомбинационных центров увеличивается. В результате фоточувствительность образцов снижается.

Таким образом, благодаря путем введения кластеров атомов примеси Ni и Rh в кремний p–типа, можно получить фоточувствительный материал, радиационно стабильный по удельной интегральной токовой фоточувствительности до дозы $4,5 \cdot 10^8$ P гамма–радиации ^{60}Co для Si<Ni> и для Si<Rh> $\sim 10^9$ P. Полученные данные можно использовать для решения ряда прикладных задач. В частности, для прогнозирования функции эффективности солнечных элементов под воздействием гамма облучения.

References:

- [1] Sabah K. Bux, Richard G. Blair, Pawan K. Gogna, Hohyun Lee, Gang Chen, Mildred S. Dresselhaus, Richard B. Kaner, and Jean-Pierre Fleurial. Nanostructured Bulk Silicon as an Effective Thermoelectric Material // Adv. Funct. Mater. 2009, 19, p.2445–2452
- [2] Vaxadixanov M.K., Isamov S.B., Zikrillaev N.F., Iliev X.M., Mavlonov G.X., Koveshnikov S.V., Ibodullaev SH.N., Funktsionalnye vozmojnosti kremniya s nanoklasterami atomov margantsa // Elektronnaya obrabotka materialov. 2020, 56(2), S.14–20.
- [3] N. Yarykin and J. Weber, Nickel in silicon: Room-temperature in diffusion and interaction in radiation defects. Phys. Stat. Sol. C 14, 1700005 (2017).

Materials of the V International Conference "Optical and photoelectrical phenomena in semiconductive micro- and nanostructures". Ferghana, November 13-14, 2020.

- [4] Vyvenko O. F., Buonassisi T., and Istratov A. A. X-ray beam induced current a synchrotron radiation based technique for the in situ analysis of recombination properties and chemical nature of metal clusters in silicon // Journal of Applied Physics. – 2002, - V. 91, - No. 6. – Pp. 3614-3617.
- [5] Bakhadyrkhanov M.K., Isamov S.B., Kenzhaev Z.T., Melebaev D. Zikrillayev Kh.F., Ikhtiyarova G.A. Silicon Photovoltaic Cells with Deep p–n Junction, Applied Solar Energy, 2020, Vol. 56, No. 1, pp. 13–17.
- [6] Istochniki i priemniki izlucheniya / G. G. Ishanin, E. D. Pankov, A. L. Andreev, G. V. Politsikov. – Sank Peterburg.: Politexnika, 1991.- 240 s.:
- [7] Zaynabidinov S.Z., Kurbanov A.O. Klasteri atomov primesi nikelya i ix vliyanie na rekombinatsionnie svoystva kremniya. Vestnik MGTU im. N.E.Baumana. Seriya Yestestvennie nauki. 2019. № 2, str. 81-93. DOI: 10.18698/1812-3368-2019-2-81-93.