

ОСОБЕННОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРЕМНИЯ С НАНОКЛАСТЕРАМИ АТОМОВ МАРГАНЦА ДЛЯ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ

¹Ш.Н.Ибодуллаев, ²А.А. Турахужаев, ¹Х.И. Хайруллаева

¹Ташкентский государственный технический университет, 100095, ул. Университетская
2, Ташкент, Узбекистан.

²Коканский филиал Ташкентского государственного технического университета, Ферганская
область, город Коканд, улица Усмон Носир 4
E-mail: shakhboz.ibodullayev.92@inbox.ru

Аннотация. Показано, что кремний с нанокластерами атомов марганца *p*-типа обладает высокой примесной фотопроводимостью в области $\lambda=1,5 - 2$ мкм. Определены оптимальные электрические параметры материала, в котором наблюдается аномально большая фоточувствительность, сравнимая с собственной, в области $\lambda=1,5 - 2$ мкм. Даже при достаточно высоких температурах ($T=300$ К), материал обладает достаточной высокой фоточувствительностью в области $\lambda=1,7-1$ мкм, позволяя создать высокочувствительные фотоприемники на его основе.

Ключевые слова: кремний, кластер марганца, фоточувствительность

Как известно в современных оптоэлектронных устройствах и в системе волоконно-оптической связи используется фотоприёмники, работающие в области $\lambda=1,5 - 2$ мкм [1]. В настоящее время такие фотоприемники изготавливаются на основе гетероструктур A^3B^5 [2]. Использование кремния основного материала электронной техники для фотоприемников в указанной области спектра невозможно, из-за особенности структуры энергетических зон этого материала [3].

1 Таблица. Основные электрические параметры образцов представлены

№	Удельное сопротивление $\rho, \Omega \cdot \text{cm}$	Концентрация носителей N, cm^{-3}	Подвижность $\mu, \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{c}$	Положение уровня Ферми F, eV	Температура диффузии $T_{diff}, ^\circ\text{C}$
1	$5 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^{13}$	96	0,36	1075
2	$6,3 \cdot 10^3$	$1,78 \cdot 10^{13}$	55	0,35	1078
3	$5,8 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^{12}$	67	0,41	1081

В данной работе приводятся оригинальные экспериментальные результаты по исследованию фотоэлектрических свойств кремния с нанокластерами атомов марганца, позволяющие разработать достаточно чувствительные фотоприемники в области $\lambda=1,5 - 2$ мкм. Условия диффузионного легирования выбирались с таким образом, чтобы получить после легирования образцы *p*-типа [4] проводимости с $\rho=10^3 \div 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$, так как в таких образцах наблюдается самая высокая фоточувствительность.

Диффузия марганца проводилась из газовой фазы при температуре $T=1075 \div 1080$ °C - в течение 70÷90 минут с последующим резким охлаждением [5]. После диффузии поверхность образцов подвергалась необходимой механической и химической обработке для удаления низкоомного поверхностного слоя. Электрические параметры образцов были исследованы методом эффекта Холла. Основные электрические параметры образцов представлены в Табл. 1.

Спектральная зависимость фотопроводимости образцов исследовались в области $\lambda=1,5 \div 2$ мкм. Образцы помещались в специальный криостат на основе установки ИКС-21. Чтобы обеспечить одинаковую мощность падающего ИК излучения ($P=10^{-5}$ Вт) в исследуемом диапазоне длин волн были использованы калиброванные сетчатые фильтры. А чтобы устранить попадание коротковолнового фонового света на образец был использован фильтр из полированной кремниевой пластины толщиной 380 мкм перед окном криостата. При этом мощность ИК излучения во всем исследуемом интервале длин волн была 10^{-5} Вт.



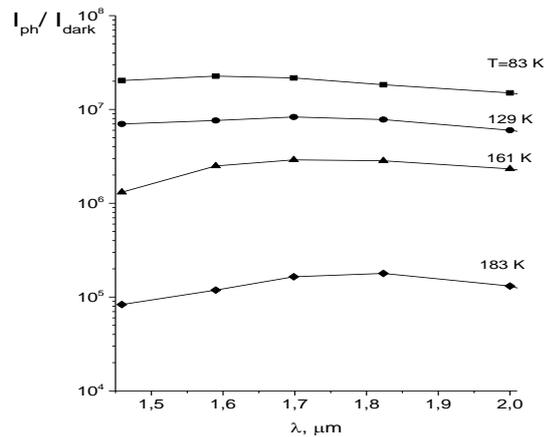


Рис. 1. Спектральные зависимости относительного изменения фототока при различных температурах.

На рисунке 1 представлены спектральные зависимости фототока в интервале $\lambda=1,5 \div 2$ мкм. Особенности этих результатов заключаются в том, что в исследуемом интервале спектра фототок имеет не только очень высокое значение, не характерное для примесной фотопроводимости, а дальнейшее увеличение энергии фотонов до $h\nu=1$ эВ, не приводит к заметному росту фототока. Даже снятие кремниевого фильтра и использование собственного поглощения не приводит к росту фототока. Это означает, что в области $h\nu=0,65 \div 0,78$ эВ образец обладает практически такой же фоточувствительностью, как при собственном поглощении

Квантовая эффективность является один из основных параметров фотоприемника. Квантовая эффективность (QE) – физическая величина, равная отношению числа носителей заряда (N_p) образованных при освещении образца, к общему числу поглощенных фотонов (N_{ph}).

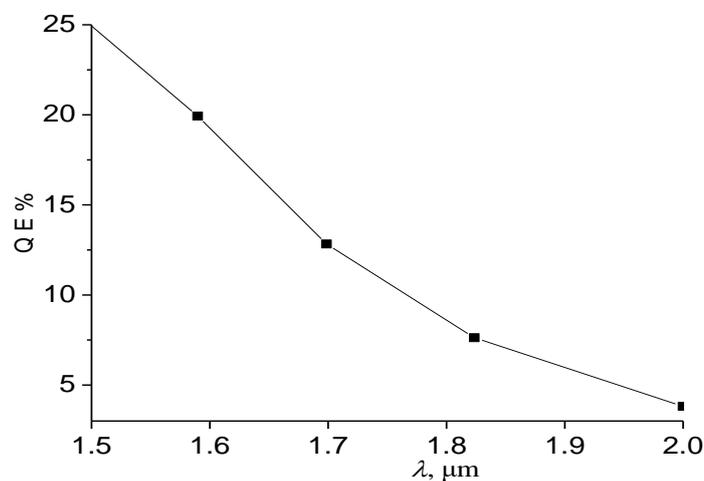


Рис. 2. Зависимость квантовой эффективности от длины волны

Так как точное значение коэффициента усиления фотоприемника неизвестно, то квантовый выход вычислялся относительно квантового выхода собственного фотоэффекта, с использованием токовой чувствительности. На рис. 2 представлена расчетная зависимость QE фотоприемника от длины волны падающих фотонов. Квантовый выход в области собственного поглощения считался равным 25%.

Как видно из рисунка 2 разработанный фотоприемник на основе кремния с нанокластерами атомов марганца обеспечивают квантовую эффективность QE порядка ~25% до длины волны 1,5 мкм и около 2 % на длине волны 2 мкм. Это позволяет использовать

примесную чувствительность кремния с нанокластерами атомов марганца для создания высокоразрешающих матричных фотоприемников на основе кремния в диапазоне до 2 мкм.

Такая аномально высокая примесная фоточувствительность позволяет использовать кремний с нанокластерами марганца при создании чувствительных ИК-приемников в области $\lambda=1,5\div 2$ мкм.

Литература

1. By 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. *Advanced Functional Materials*, (2009) 19, 2445–2452.
2. Giri Joshi, Hohyun Lee, Yucheng Lan, Xiaowei Wang, Gaohua Zhu, Dezhi Wang, Ryan W. Gould, Diana C. Cuff, Ming Y. Tang, Mildred S. Dresselhaus, Gang Chen, and
3. Бахадырханов М.К., Мавлонов Г.Х., Исамов С.Б., Илиев Х.М., Аюпов К.С., Сапарниязова З.М., Тачилин С.А., Неорг. мат. **47** (5), 545(2011).
4. Kreissl J. and Gehlhoff W. Trigonal manganese cluster in silicon: An electron-paramagnetic-resonance study. *Physical Review B*, (1994) V 49, N 15, 10307–10317.
5. Bakhadyrkhanov M. K., Ayupov K. S., Iliev Kh. M, Mavlonov G. Kh. Sattorov O.E. Effect of Electric Field, Illumination, and Temperature on the Negative Magnetoresistance of Low Temperaturee Diffusion Doped Silicon. *Technical Physics Letters*, (2009) Vol. 35, No. 8, pp. 741–744.