

14. Rasulov, V. R., Rasulov, R. Y., Mamatova, M. A., & Qosimov, F. (2022, December). Semiclassical theory of electronic states in multilayer semiconductors. Part 1. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 2388, No. 1, p. 012156). IOP Publishing.
15. Rasulov, V. R., Rasulov, R. Y., Mamatova, M. A., & Qosimov, F. (2022, December). Semiclassical theory of electronic states in multilayer semiconductors. Part 2. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 2388, No. 1, p. 012158). IOP Publishing.
16. Rasulov, V. R., Rasulov, R. Y., & Adhamovna, M. M. (2022). ELECTRONIC PROPERTIES OF A SEMICONDUCTOR TWO-BARRIER STRUCTURE. EPRA International Journal of Multidisciplinary Research (IJMR), 8(5), 58-62.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАРГАНЦА И КИСЛОРОДА В РЕШЕТКЕ КРЕМНИЯ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

М.О. Турсунов¹, Х.М. Илиев², У.М. Хужаназаров¹, Ш.Ш. Шопулатов¹,

¹ Термезский государственный университет, Термез, Узбекистан.

² Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан.

Аннотация. Результаты показывают, что повышение температуры диффузии в диапазоне 1175-1300°C приводит к уменьшению концентрации электрически активных атомов марганца, так что при $t=1300^\circ\text{C}$ их концентрация становится значительно ниже исходной концентрации легирующей примеси бора. Образование электронейтральных комплексов сопровождается образованием в решетке кремния новых тетраэдрических ячеек типа $\text{Si}_2\text{O}^{++}\text{Mn}^-$, которые лишь незначительно искажают ее периодичность, но существенно отличаются по свойствам от элементарной ячейки кремния.

Ключевые слова: кремний, диффузия марганца, кислород, электронейтральный комплекс, растворимость.

При образовании электронейтральных комплексов Mn^-O^{++} , формируются новые элементарные ячейки типа $\text{Si}_2\text{O}^{++}\text{Mn}^-$ в решетке кремния, существенно отличающиеся по свойствам от элементарной ячейки кремния. Природа химической связи в них - ионно-ковалентная, кроме того, энергия связи электронов в ней другая. При увеличении концентрации таких элементарных ячеек могут образовываться их различные комбинации, вплоть до образования наноконструкций новой фазы, которые будут иметь свои фундаментальные параметры [1-2].

В качестве исходного материала были использован монокристаллический кремний р-типа с $\rho=3$ Ом·см, полученный методом Чохральского. В образцах концентрация кислорода составляла $N_{\text{O}_2}=(5+6)\cdot 10^{17}\text{см}^{-3}$ соответственно. Плотность дислокаций была $S=10^3\text{см}^{-2}$. Механическая и химическая обработка всех образцов проводилась идентично. Диффузия марганца проводилась из газовой фазы в откачанных кварцевых ампулах с остаточным давлением не более $P\sim 10^{-4}$ мм.рт.ст., в каждой ампуле было по двух образцов обоих видов материала [3-4]. Время диффузии составляло $t=0,5\pm 1$ час.

На основе полученных результатов, можно считать, что происходит формирование электронейтральных комплексов за счет взаимодействия между атомами марганца и кислорода. В наших условиях диффузии возможно, как узельное, так и внеузельное расположение атомов марганца и кислорода.

В первом случае, атомы марганца и кислорода находятся в соседних узлах решетки кремния. При этом атомы кислорода и марганца образуют устойчивые комплексы с ионно-

ковалентной связью. Доказательством этой возможности могут служить следующие факты: Первое – при высоких температурах отжига $T>1250^\circ\text{C}$ концентрация вакансий существенно увеличивается, это стимулирует переход атомов кислорода и марганца из междоузельного состояния в узел. Этот процесс начинается вблизи $T=1150^\circ\text{C}$ и должен достичь своего максимального значения при $T=1300^\circ\text{C}$. В результате формирования электронейтральных комплексов создаются новые тетраэдрические ячейки типа $\text{Si}_2\text{O}\text{Mn}$ (рис. 4.8), которые не нарушают тетраэдрическую связь решетки кремния и одновременно обеспечивают более выгодное термодинамическое состояние системы, чем то, когда атомы O и Mn находятся в междоузлиях, создавая вокруг себя как деформационный, так и электрический потенциал. Образование комплексов Si_2MnO соседних узлов в решетке кремния. (Рис.1)

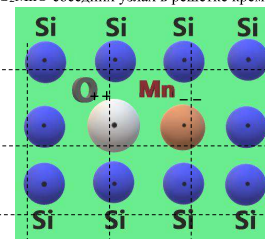


Рис.1 Расстояние между атомами Mn и кислорода в решетке кремния.

Диэлектрическая проницаемость среды взаимодействия (решетка кремния) $\epsilon=12$. Считая связь примесь- примесь ионной, и принимая кратность заряда равной единице можно оценить силу притяжения между атомами кислорода и марганца.

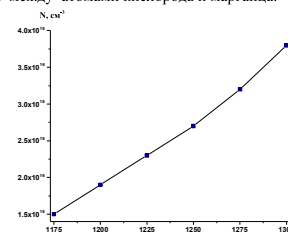


Рис. 2. Температурная зависимость концентрации комплексов.

На основе полученных результатов, мы предлагаем следующую модель формирования электронейтральных молекул за счет взаимодействия между атомами марганца и кислорода [5-6]. При этом учитывалось, как узельное, так и внеузельное расположение атомов марганца и кислорода (Рис. 2).

Тенденции развития физики конденсированных сред

Секция «Физика конденсированных сред»

Таким образом, полученный кремниевый материал содержит достаточно высокую $\sim 10^{16}$ cm^{-3} концентрацию тетраэдрических ячеек типа Si_2OMn в решетке кремния, что представляет очень большой научный и практический интерес. Исследование путей повышения концентрации подобных бинарных комплексов и свойств таких материалов позволят в будущем создать новый класс материалов на основе кремния для разработки оптоэлектронных и фотоэлектрических приборов.

Список литературы

1. *M.K. Bakhadirkhanov, Kh.M. Iliev, M.O. Tursunov, S.B. Isamov, S.V. Koveshnikov, M.Kh. Majitov.* Electrical Properties of Silicon Doped with Manganese via High-Temperature Diffusion // *Inorganic Materials*. 2021. Vol. 57, No. 7, pp. 655-662.
2. *Bakhadyrkhanov M.K., Isamov S.B., Zirkillaev N.F., Tursunov M.O.* Anomalous Photoelectric Phenomena in Silicon with Nanoclusters of Manganese Atoms // *Semiconductors*, 2021, Vol. 55, No. 6, pp. 636–639.
3. *Х.М.Илиев, М.О.Турсунов, С.В.Ковешников, А.С.Аллаёров.* Энергии связи комплексов марганца с элементами VI группы в решетке кремния // VII Международная научно-практическая конференция «Энергетика и Энергосбережение: теория и практика» г. Кемерово, 7-9 декабря 2022. С. 227, 1-5
4. *Ismailov K.A, Iliev X.M, Tursunov M.O, Ismaylov B.K.* Formation of complexes consisting of impurity Mn atoms and group VI elements in the crystal lattice of silicon. // *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*. 2021, Vol. 24, No. 3, pp. 255–260.
5. *Бахадирханов М.К., Илиев Х.М., Исамов С.Б., Тачилин С.А., Зикриллаев Н.Ф., Ибодуллаев Ш.Н., Турсунов М.О.* Особенности фотоэлектрических свойств кремния с нанокластерами атомов марганца в области $\lambda=1,5...2,5$ мкм // *Приборы*. Россия, 2019. Т.231. вып 10. 52-55.

МАТРИЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МЕЖДУЗОННЫХ ОПТИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДОВ В КРИСТАЛЛАХ As_2V_5

Расулов Вохоб Рустамович¹, Расулов Рустам Явкочевич¹, Кодиров Нурилло Убайдулло угли¹, Уринова Камала Комилжановна², Юсупова Махлиё Шавкатжон кизи¹

¹ Ферганский государственный университет, ² Кокандский государственный педагогический институт

Аннотация: Появление мощных квантовых лазерных генераторов стимулировало исследование нелинейного поведения оптических полей, особенно в конденсированных материалах и, особенно, в полупроводниках. Эти исследования обусловлены особыми и сложными свойствами, характеризующими нелинейные эффекты, которые открывают возможности для нового понимания свойств кристаллических полос и широкого спектра практических применений. Эти исследования признают, что нелинейное поведение коэффициента однофотонного поглощения света объясняется эффектом Раби, охватывающим фотоиндуцированное поглощение как в межзонных, так и внутризонных процессах. Этот эффект возникает из-за изменения функций распределения электронов и Дирака под влиянием