

СТРУКТУРА И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИМПЛАНТИРОВАННЫХ СЛОЕВ И СИСТЕМ «НАНОКРИСТАЛЛЫ В Si» И «НАНОКРИСТАЛЛЫ В SiO₂».

Исмаилова Г.А., Михайлов Л.В., Михайлова С.Л., Абил Р.Б.

*Казахский национальный университет им. аль – Фараби, г. Алматы, пр. аль-Фараби,
71*

Аннотация: показано, что для трех исследованных систем нанокристаллов A³B⁵ в монокристаллическом кремнии («нанокристаллы InAs+Si», «нанокристаллы GaSb +Si» и нанокристаллы InSb+Si») повышенная температура имплантации (500 – 550 °С) и термоотжиг при 1100 °С приводят к уширению профилей концентраций внедренных примесей, сдвигу максимумов концентраций к поверхности и заметной «потере дозы». Наличие тонкого оксидного слоя на поверхности имплантированных образцов снижает потери примеси при термообработке.

Введение

В настоящее время значительные усилия исследователей сосредоточены на совершенствовании технологий получения микро- и наноструктур на основе Si с улучшенными оптоэлектронными свойствами. Используются различные подходы, в том числе создание сверхрешеток Si/SiO₂ [1], формирование структур кремний/германий [2], кремниевых или германиевых нанопреципитатов в SiO₂ [3, 4], нанокристаллов соединений A³B⁵ в кремнии [5]. Создание светоизлучающих структур ИК и видимого диапазона на кремнии позволит использовать более быструю оптическую коммутацию вместо электронного переноса в сверхбольших и ультрабольших интегральных схемах и тем самым кардинально увеличить быстродействие и уменьшить размеры элементной базы электроники.

Методики эксперимента

Для получения нанокompозитных структур использовался метод ионной имплантации атомов систем InSb+Si, InAs+Si и GaSb+Si с последующей термообработкой. Термообработки осуществлялись в инертной среде (аргон) в системе для равновесных и быстрых термообработок JET –FIRST – 100. Структура сформированных слоев исследована методом малоугловой рентгеновской дифракции и просвечивающей электронной микроскопии, ПЭМ (на 200кэВ-ном электронном микроскопе H-800 фирмы Хитачи). Образцы для измерений методом ПЭМ были прозрачны для электронного пучка с энергией частиц 200 кэВ, т.е. толщина их не превышала 150-200 нм. Запись спектров фотолюминесценции проводилась на спектрофлуориметре Cary Eclipse.

Результаты исследований и обсуждение

В слоях SiO₂ методом высокодозной имплантации олова и отжига в кислородсодержащей среде сформированы нанопреципитаты высокой плотности размером 30 – 40 нм. Кроме этого, на картинах ПЭМ зарегистрированы характерные полосы светлого и темного контраста, также связанные с выделениями второй фазы. Анализ термостабильности фаз, связанных с оловом, показал, что в условиях нашего эксперимента нанокластеры, скорее всего, представляют собой фазу металлического олова (β-Sn), а контраст из темных и светлых полос связан с выделением фазы с высоким содержанием SnO₂. Для образцов SiO₂ с нанокластерами при комнатной температуре зарегистрирована фотолюминесценция в видимом диапазоне с максимумами при 1,6 эВ, 2-2,5 эВ и наиболее интенсивной полосой при 3-3,2 эВ. Предположительно эмиссия

связана с излучающими центрами на дефектах дефицита кислорода. Установлено, что с увеличением дозы имплантации олова и температуры термообработки интенсивность люминесценции в области 3-3,2 эВ существенно возрастает. По результатам ПЭМ исследований количество Sn в кластерах не превышает 50% для дозы имплантации 5×10^{16} см⁻² и меньше 25% для дозы 1×10^{17} см⁻². Остальная примесь растворена в матрице SiO₂ и находится в виде оксидов. Для демонстрации электролюминесценции в композициях «SiO₂ с нанокластерами Sn»/Si разработан простой вариант лабораторной тестовой структуры:

In-контакт/ИТО (In-Sn oxide)/(SiO₂+ нанокластеры Sn+оксиды Sn)/Si(подложка)/In-контакт.

Согласно результатам рентгеноструктурного анализа для систем нанокристаллов A³B⁵ в монокристаллическом кремнии («нанокристаллы InAs+Si», «нанокристаллы GaSb+Si» и нанокристаллы InSb+Si) на дифрактограмме появился только пик кремния, который соответствует 69,15⁰, пик имплантированных ионов не наблюдался. Отсутствие пиков внедренных примесей говорит о том, что их атомная концентрация менее 5%, что хорошо согласуется с результатами компьютерного моделирования. При помощи спектра малоуглового рентгеновского рассеяния была получена кривая корреляционной функции имплантированных слоев наноконструкций. Корреляционная функция дает информацию о распределении по размерам частиц. У полученной кривой корреляционной функции заметны рефлексии, которые отвечают за дисперсность частиц по размерам, положение кривой соответствует частицам сферической формы. Также функция распределения частиц по размерам показывает, что большинство частиц обладают размером около 70-80 нм, что хорошо согласуется с результатами полученных по методу ПЭМ.

Список литературы

1. X. Luo, S. B. Zhang, and S. H. Wei. Chemical design of direct-gap light-emitting silicon. *Phys. Rev. Lett.*, vol. 89, no. 7, p. 076 802-1, Aug. 2002.
2. F. F. Komarov, L. A. Vlasukova, O. M. Milchanin, P. I. Gaiduk, V. N. Yuvchenko, S. S. Grechnyi. Ion-beam formation of nanopores and nanoclusters in SiO₂ // *Vacuum*. - 2005 –V. 78. – P. 361-366.
3. S. Mirabella, R. Agosta, G. Franzó *et al* . Light absorption in silicon quantum dots embedded in silica // *J. Appl. Phys.* – 2009. – V. 106. - P.103505(8).
4. F.L. Bregolin, M. Behar, U.S. Sias, E.C. Moreira. Optically active Er³⁺ ions in SiO₂ codoped with Si nanoclusters // *Nucl. Instr. Meth. B* – 2009.-V. 267. – P.1321.
5. T. Mano, H. Fujioka, K. Ono, Y. Watanabe, M. Oshima, Appl. 10. Characterization of a Pseudomonad 2-Nitrobenzoate Nitroreductase and its Catabolic Pathway Associated 2-Hydroxylaminobenzoate Mutase and a Chemoreceptor Involved in 2-Nitrobenzoate Chemotaxis.
6. *Surf. Sci.* 130-132 (1998) 760.