

К. ф.-м. н. В. Н. КАТЕРИНЧУК, М. З. КОВАЛЮК,
к. ф.-м. н. О. С. ЛИТВИН

Украина, г. Черновцы, ЧО Ин-та проблем материаловедения
им. И. Н. Францевича; г. Киев, Ин-т физики
полупроводников им. В. Е. Лашкарёва
E-mail: chimsp@ukrpost.ua

Дата поступления в редакцию
11.01 2007 г.

Оппонент д. х. н. В. Н. ТОМАШИК
(ИФП им. В. Е. Лашкарёва, г. Киев)

ПОВЕРХНОСТНЫЕ НАНООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ОКИСЛЕНИИ СЛОИСТЫХ КРИСТАЛЛОВ SnS_2

Наноскопический анализ окисленной поверхности кристаллов SnS_2 указывает на образование наноигол высокой плотности.

Свойства полупроводниковых материалов в массивном состоянии могут существенно изменяться при их наноструктурировании. Наиболее часто наноструктурирование на полупроводниковых подложках происходит при формировании на их поверхности слоев других веществ. При этом могут проявиться новые квантово-размерные эффекты, что дает возможность формирования нанoeлектронных приборов [1, 2].

Одним из качественных типов подложек для создания гетероструктур являются кристаллы со слоистым строением [3—5], которые легко скалываются механически вдоль плоскостей спайности и характеризуются наличием зеркальной поверхности скола. Обычно скол кристалла проявляет инертные свойства в окружающей среде.

Наиболее простым способом наращивания другой фазы на полупроводниковой подложке является ее окисление. В данной работе методом атомно-силового микроскопии (АСМ) исследованы поверхностные свойства неокисленных и окисленных кристаллов SnS_2 .

Эксперимент

Образцы кристаллов дисульфида олова выращивали методом химических транспортных реакций в двухсекционной печи с соответствующим градиентом температуры. В высокотемпературную область печи помещали синтезированное вещество — SnS_2 , а в другой части ампулы, которая находилась при более низкой температуре, выращивались сами кристаллы. Переносчиком вещества служил йод.

Кристаллы получали в виде тонких пластин, хаотически расположенных по ампуле и ее стенкам, причем максимальные размеры пластин составляли приблизительно 1 см^2 , а их толщина колебалась в пределах 5—100 мкм. Такие пластины характеризовались зеркальной поверхностью.

После выращивания пластины окисляли на воздухе в печи с регулируемой и стабилизированной температурой. Температура окисления образцов составляла 400°C , а время окисления — 4 ч.

Исследование топологии поверхности образцов до и после окисления осуществляли при помощи атом-

но-силового микроскопа типа Nanoscope IIIa Dimension 3000 SPM (Digital Instruments, USA) в режиме периодического контакта.

Результаты исследований и их обсуждение

На рис. 1, а показано трехмерное АСМ-изображение неокисленной и неокисленной поверхности SnS_2 . Хорошо видно, что она состоит из полос наслаев вещества, которые имеют ступенчатый характер с шагом ступеньки $\approx 0,345 \text{ нм}$, причем ширина наслаев составляет $\approx 100 \text{ нм}$. Такая картина поверхности обусловлена характером роста самих кристаллов — методом химических транспортных реакций. Она свидетельствует о том, что формирование кристалла из отдельных молекул SnS_2 во время роста не имеет плоскостного характера. Эту особенность поверхности кристаллов необходимо учитывать при подготов-

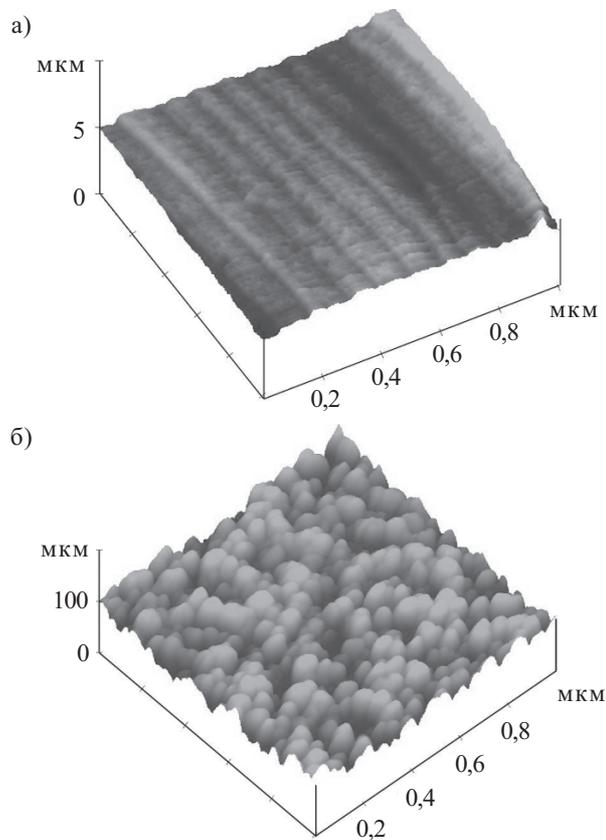


Рис. 1. АСМ-изображение неокисленной (а) и окисленной (б) поверхности SnS_2

ке подложек из SnS₂ с целью приготовления гетероструктур.

Продолжительность и температура процесса окисления кристаллов могут существенно влиять на топографию окисленной поверхности, причем эти два фактора можно выбирать произвольно.

Окисление кристаллов при 400°C проводили с целью содействия образованию оксидной пленки SnO₂. Известно, что эта температура способствует формированию пленок SnO₂ и другими методами, например пиролизом [6].

Проведенные экспериментальные исследования свидетельствуют о том, что при окислении кристаллов SnS₂ происходит быстрое наращивание оксида, о чем свидетельствует окрашивание поверхности в другой оттенок, отличающийся от первоначального. Энергия химических связей Sn-S мала, и получаемой тепловой энергии достаточно для их быстрого разрыва.

Отметим, что отдельные слои кристалла представляют собою три моноатомных плоскости в последовательности S-Sn-S. При окислении образуются как оксиды серы, так и оксид типа SnO₂. Летучие соединения серы легко удаляются, в результате чего на поверхности кристалла остается только пленка диоксида олова.

На рис. 1, б показано трехмерное АСМ-изображение окисленной поверхности кристалла, откуда хорошо видно, что она не является плоской, а преобразуется в плотную совокупность наноигл, ориентированных перпендикулярно к плоскости. Главной причиной появления наноструктурированной поверхности в процессе формирования гетероструктуры является расхождение параметров кристаллических решеток SnS₂ и образующегося диоксида олова. Плотность наноигл составляет ≈200—250 мкм⁻², а их высота не превышает 30 нм.

Подтверждением формирования nanoобразований на окисленной поверхности SnS₂ в форме наноигл может служить также анализ поперечного сечения рассматриваемой поверхности, которое показано на рис. 2. Видно, что nanoобразования заострены и напоминают наноиглы. Максимальные значения высот и впадин поверхности составляют соответственно +(25...30) и -30 нм, а средние размеры диаметра оснований таких наноигл составляют 40—50 нм.

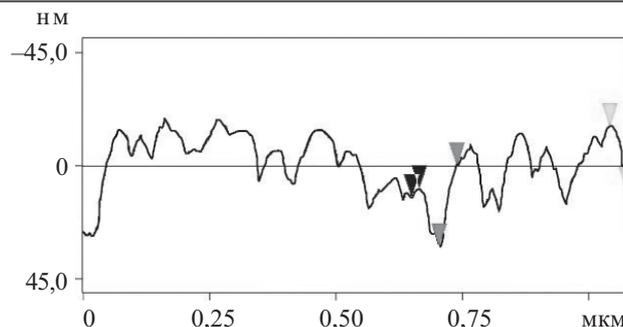


Рис. 2. Вертикальное сечение окисленной поверхности SnS₂

Выводы

Исследование неокисленной и окисленной поверхности SnS₂ с помощью атомно-силовой микроскопии позволило обнаружить ее наноструктурирование. Неокисленная поверхность имеет nanoобразования в форме ступенчатых нанополос, а окисленная — в виде плотной совокупности наноигл. Средние размеры нанополос составляют 100 нм, высота наноигл достигает значений 25—30 нм, а диаметр их основания — 40—50 нм.

Выявленные особенности поверхности необходимо учитывать при формировании гетероструктур и при физических исследованиях структур "оксид—полупроводник".

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Bettotti P., Cazzanelli M., Dal Negro L. et al. Silicon nanostructures for photonics // *J. Phys.: Condens. Matter.*— 2002.— Vol. 14, N 35.— P. 8253—8281.
2. Pavesi L. Routes toward silicon-based lasers // *Materials Today.*— 2005.— Vol. 8, N 1.— P. 18—25.
3. Катеринчук В. Н., Ковалюк М. З. Фотоэлектрические параметры гетеропереходов SnS_{2-x}Se_x-InSe (0≤x≤1) // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре.*— 2006.— № 2.— С. 41—42.
4. Katerinchuk V. N., Kovalyuk M. Z. Photoelectric properties of n-SnS₂-p-InSe heterojunction // *J. Advanced Materials.*— 1997.— Vol. 4, N 1.— P. 40—43.
5. Катеринчук В. М., Ковалюк М. З. Вплив інверсійного шару на електричні властивості гетеропереходу n-SnS₂-p-InSe // *Укр. фіз. ж.*— 1993.— Т. 38, № 2.— С. 259—262.
6. Dawar A. L., Joshi J. C. Review. Semiconducting transparent thin films: their properties and applications // *J. Mater. Sci.*— 1984.— Vol. 19, N 1.— P. 1—23.

в портфеле редакции в портфеле редакции

- Направленная кристаллизация силицидных пленок на кремнии. (Украина, г. Киев)
- Расчет коэффициента преобразования кондуктометрического датчика биосенсора. (Украина, г. Киев)
- Технология изготовления автоэмиссионных кремниевых катодов субмикронных размеров. (Украина, г. Львов)
- Технология ультразвуковой очистки оптико-механических систем. (Беларусь, г. Минск)



- Датчики ускорений и силы инерции и тяготения. (Украина, г. Киев)
- Электронные приборы на основе полупроводников. (Россия, г. Москва)
- Тонкопленочные элементы кремниевых диодов Шоттки для высокотемпературного микромонтажа. (Беларусь, г. Минск)
- Ультрафиолетовые поверхностно-барьерные структуры для сенсоров пламени. (Украина, г. Киев)
- Датчики давления криогенных сред. (Украина, г. Львов)

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции