

Террасированная морфология подложек GaAs(001), приготовленных в квазиравновесных условиях

Атомно-чистые и гладкие поверхности полупроводников необходимы как для фундаментальных научных исследований, так и для практических применений. Только на таких поверхностях возможно воспроизводимое создание наноразмерных структур с помощью зондовых методов или благодаря эффектам самоорганизации. Наибольшие трудности вызывает получение атомно-гладких поверхностей соединений A_3B_5 , имеющих высокие и существенно разные скорости испарения элементов 3 и 5 групп.

В Институте физики полупроводников разработан новый метод приготовления атомно-гладких поверхностей GaAs с регулярными массивами ступеней моноатомной высоты с помощью отжига в условиях, близких к равновесным. Отжиги проводились в установке жидкофазной эпитаксии, в потоке молекулярного водорода при температурах 400—800 °С.

Условия равновесия между поверхностью GaAs(001) и парами галлия и мышьяка были реализованы двумя способами: в узком зазоре между двумя GaAs-подложками (двумерном «капилляре»), а также в специальной графитовой кассете, содержащей насыщенный раствор-расплав Ga—GaAs. Морфология поверхности определялась методом атомно-силовой микроскопии (АСМ).

Процесс формирования на поверхности GaAs(001) атомно-гладких террас, разделенных моноатомными ступенями, при увеличении температуры отжига до 650 °С в квазиравновесных условиях проиллюстрирован на АСМ-изображениях (рис. 6, *a—z*). При более высоких температурах выглаживание сменялось разрушением ступеней и ростом шероховатости. Для того чтобы количественно характеризовать процессы термического выглаживания и разупорядочения поверхности, вели-

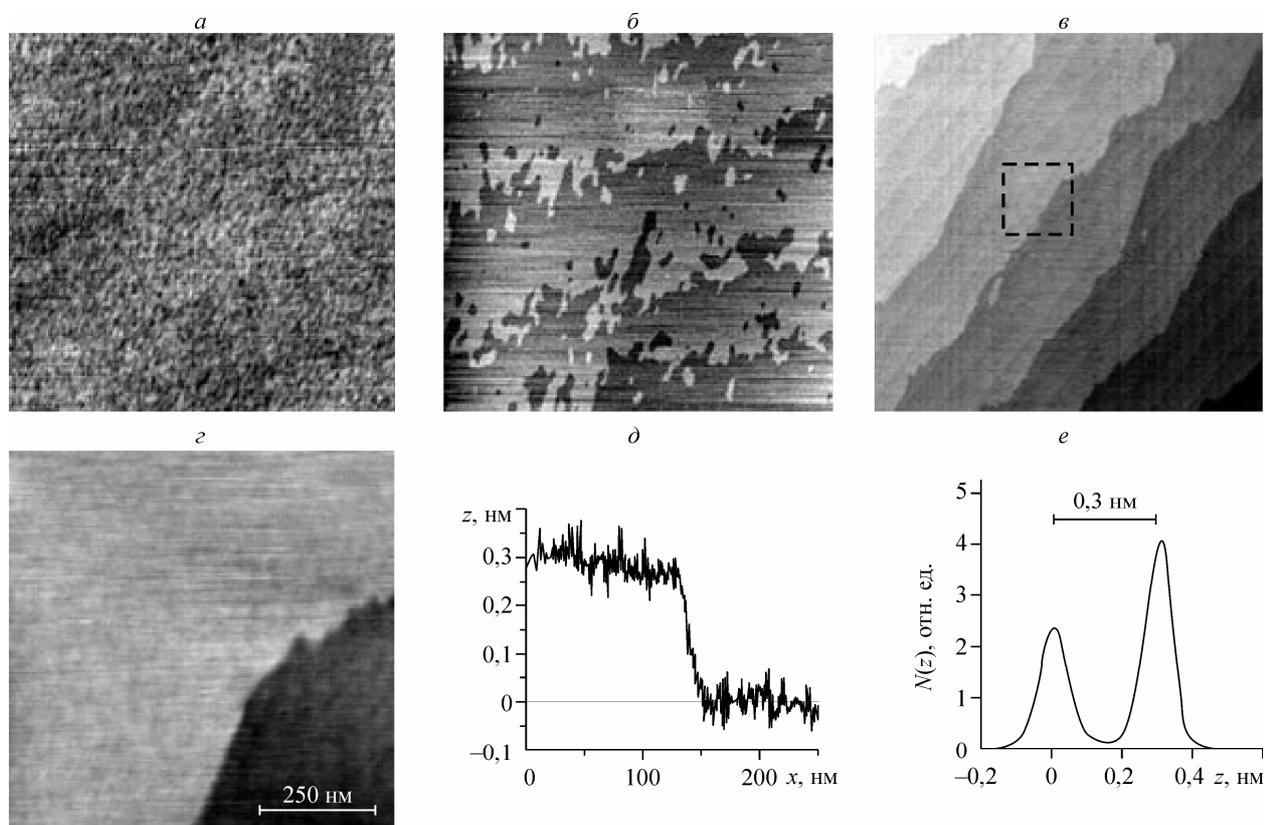


Рис. 6. АСМ-изображения (5×5 мкм) исходной поверхности GaAs(001) подложки (*a*), после отжига при $T = 575$ °С (*б*) и 650 °С (*в*, *z*); *д* — z — x -сечение ступени; *е* — гистограмма высот по изображению 900×900 нм.

чины среднеквадратичной шероховатости террас и длина ступеней были определены как функции температуры отжига. Показано, что в процессе выглаживания среднеквадратичная шероховатость изменяется слабо, в то время как длина ступеней уменьшается на порядок и

приближается к величине, соответствующей идеальной террасированной поверхности. Следовательно, для данных условий эксперимента длина ступеней является более адекватной характеристикой выглаживания, чем среднеквадратичная шероховатость.

Формирование графена и наноболочек на его основе

Разработаны методы формирования гибридных и графеновых оболочек, совместимые с методами выращивания графена большой площади. Графеновые пленки, содержащие три—пять монослоев графена, выращены газотранспортным методом на тонких (150 нм) слоях никеля, напыленных на слой SiO_2 и на никелевой фольге. Разработаны методы выращивания и отсоединения от подложки графена больших площадей (более 5 см^2), методы формирования графеновых и гибридных наноболочек и приборов на их основе. Простейший способ выращивания содержал два этапа. Первый — пленка никеля насыщалась углеродом при пропуске через реактор смеси аргона,

метана и водорода, в пропорциях 100 : 30 : 20, при температуре $900 \text{ }^\circ\text{C}$. Второй — рост графеновой пленки происходил при резком охлаждении реактора, со скоростью 3 град./с. Количество слоев определялось по измерению спектра комбинационного рассеяния, проведением анализа формы пика 2D (2680 см^{-1}). Освобождение графенового слоя от подложки осуществлялось травлением слоя Ni в 30%-м водном растворе FeCl_3 . На рис. 7 приведены фотографии образцов, на которых выращен графен. Неоднородность по площади задавалась намеренно, для этого сверху подложки помещалась дополнительная подложка.

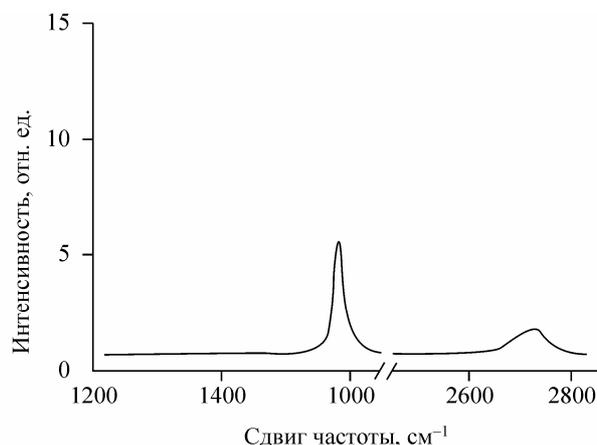
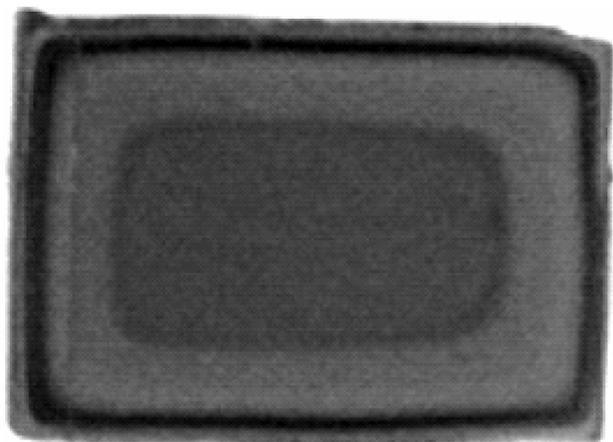


Рис. 7. Образец с графеновой пленкой, выращенной на слое никеля, и спектр комбинационного рассеяния света графеновой пленки.

Создание производства наноразмерных порошков различных веществ

Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича и Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера получают наноразмерные порошки различных веществ

на опытно-промышленной установке по новой оригинальной технологии с использованием ускорителя электронов: оксидов — диоксида и оксида кремния, оксида магния, оксида алю-

миния, диоксида титана, закиси меди, оксида иттрия, оксида гадолиния; металлов — тантала, молибдена, никеля (Ni), алюминия, меди, серебра и некоторых других, в различных атмосферах; полупроводника — кремния; нитри-

дов — алюминия, титана; и других веществ (примеры на рис. 8). Количества некоторых нанопорошков измеряются десятками бочек (рис. 9). Получаемые порошки опробованы в ряде применений.

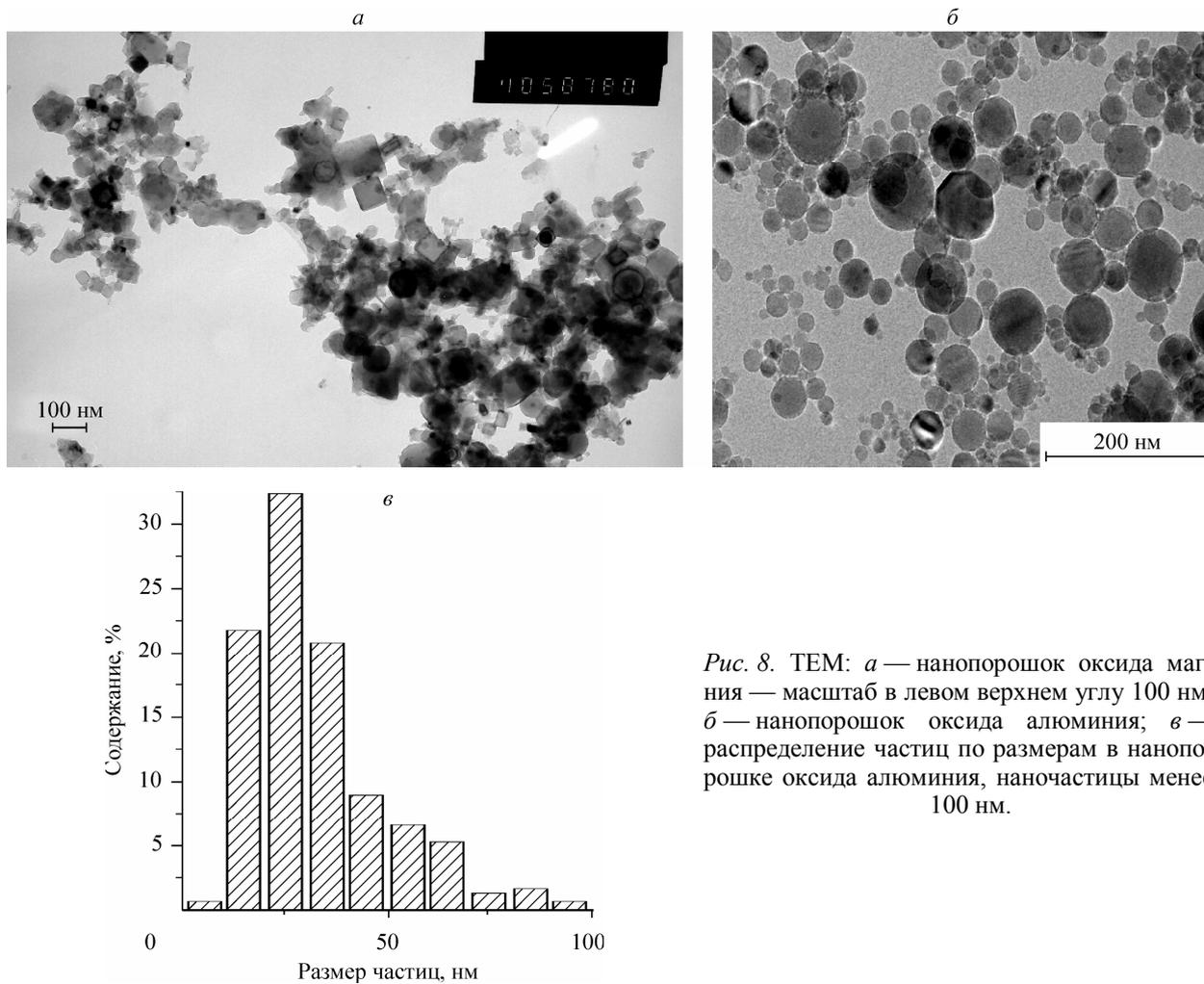


Рис. 8. ТЕМ: *а* — нанопорошок оксида магния — масштаб в левом верхнем углу 100 нм; *б* — нанопорошок оксида алюминия; *в* — распределение частиц по размерам в нанопорошке оксида алюминия, наночастицы менее 100 нм.



Рис. 9. Бочки с нанопорошками диоксида кремния, произведенные на пилотной установке, средний размер частиц 15—60 нанометров.

Защитно-декоративные лакокрасочные покрытия железнодорожного подвижного состава с использованием наноматериалов

Специалисты Института теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича и Сибирского государственного университета путей сообщения совместно разработали технологию модифицирования лакокрасочных материалов (ЛКМ) нанопорошками диоксида кремния в условиях ремонтных предприятий. Разработаны рецептура и способ диспергирования нанопорошков, позволяющие эффектив-

но управлять эксплуатационными свойствами ЛКМ и экономическими показателями технологических процессов подготовки и нанесения ЛКП в условиях ремонтных предприятий. Переход на предлагаемую технологию актуален технически и экономически. Первый купейный вагон (рис. 10), загрунтованный и окрашенный по новой технологии, начал в марте 2009 г. свой очередной эксплуатационный период.



Рис. 10. Защитное грунтование (а) и декоративное окрашивание (б) кузова вагона с помощью ЛКМ, модифицированных нанопорошками диоксида кремния.