

Магистерская программа 210200.08

Элементы и устройства электронно-вычислительных средств

Руководитель программы д.т.н., проф. Брусенцов Ю. А.

Милованов А. В., Шелохвостов В. П.

ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК НАНОРАЗМЕРНОЙ ТОЛЩИНЫ

Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Шелохвостова В. П.

ГТУ, Кафедра «Материалы и технология»

Получением тонких пленок, в том числе и нанометровых размеров, давно и плодотворно занимается субмикронная технология [1], поскольку тонкая пленка чаще всего является основой для получения двумерной структуры с помощью литографических методов. Это совершенно естественно, поскольку в микроэлектронике получение сплошной однородной пленки не может являться самоцелью - необходимо получать на поверхности какую-либо структуру, соответствующую определенному элементу электронной техники. Необходимо оговорить, какие пленки следует причислять к наноструктурным и наноразмерным. Если с субмикронными пленками все ясно (это все пленки с размерами менее микрона), то диапазон нанометровых размеров охватывает значительную совокупность пленок с различными свойствами. Возможно, что целесообразно причислять к наноразмерным пленкам плоскостные структуры, у которых доля поверхностных атомов или молекул преобладает над долей атомов или молекул, принадлежащих объему.

Получение наноразмерных и наноструктурных пленок связано с еще более жесткими требованиями к чистоте и структурному совершенству материалов, чем в случае субмикронных структур. Те недостатки, с которыми можно мириться в объемных образцах или тонких пленках совершенно нетерпимы в наноразмерной пленке толщиной в несколько атомных слоев, поскольку примеси, инородные включения или структурные несовершенства изменяют ее физические и эксплуатационные свойства.

Однако для получения наноразмерных и наноструктурных пленок особую важность имеет даже не столько решение проблем чистоты или структурного совершенства материалов, сколько возможность создания наноразмерного изображения на поверхности наноразмерной пленки. Для микроэлектроники структурирование состояло в создании изображения на поверхности пленки и последующем переносе рисунка на структуру пленки (удаление материала). Для нанотехнологии единственным путем структурирования является создание пленок, состоящих из прецизионно локализованных групп атомов и, в идеале, из отдельных строго и упорядоченно локализованных атомов.

В настоящее время единственным методом, с помощью которого удалось добиться подобного результата является применение туннельно-зондовых технологий. Прежде всего это туннельно-зондовый массоперенос. Процесс осуществляется в сканирующем туннельном микроскопе (или аналогичном устройстве) и заключается в создании в туннельном промежутке между иглой-зондом и подложкой условий для эмиссии отдельных атомов с поверхности зонда. Возможно также реализовать осаждение атомов или молекул из объема окружающей среды под воздействием туннельного тока. Конкурентных методов у туннельно-зондовых для создания наноразмерных структур пока не имеется и в ближайшее десятилетие не предвидится.

Туннельно-зондовые методы являются методами индивидуальной обработки, нанотехнологическим аналогом электронной литографии с помощью остросточкованного пучка электронов.

Рассмотрим простой пример. Имеется операционное поле размеров 1 см^2 . Если учесть, что объем атома примерно 10^{-24} см^3 , то он занимает площадь порядка 10^{-16} см^2 . Если время непрерывной работы туннельно-зондовой системы принять за 100 часов, то тогда для заполнения заданной площади необходимо в одну секунду обеспечить высаживание на поверхность подложки 1016 атомов в строго индивидуальном порядке. Для локализации одного атома необходимо отпозиционировать зонд-иглу или зонд-нанотрубку и произвести эмиссию атома с поверхности зонда строго определенным импульсом напряжения и туннельного тока.

За 100 часов работы подобной установки (или любой другой, обеспечивающей принцип индивидуальной атомной сборки) на операционном поле в 1 мм^2 необходимо высадить 108 ат/сек, а на поле в 1 мкм^2 102 ат/сек.

Таким образом, применение индивидуальных методов создания структуры (топологии, рисунка) в нанотехнологии бесперспективно с точки зрения практической применимости. Необходимо разработать групповые методы структурирования наноразмерных пленок, которые позволяли бы за один цикл обработки создавать регулярную упорядо-

ченную структуру одновременно на всей площади обрабатываемого образца.

Наиболее привлекательным с практической и технологической точек зрения является создание на поверхности подложки максимально свободного от примесей и структурных несовершенств и неоднородностей переходного тонкопленочного слоя и выращивание на его поверхности наноразмерной и наноструктурированной пленки. Поскольку на поверхности подложки при этом не имеется (в идеале) примесей и структурных несовершенств, а миграция атомов по поверхности в поисках нерегулярностей структуры продолжает иметь место, то необходим некий физический агент, который реализовал бы на поверхности подложки в создаваемой пленке требуемую неоднородность какого-либо параметра.

Естественно, что эта неоднородность должна иметь строго упорядоченную структуру и соответствовать тому локальному распределению атомов на поверхности, которое является необходимым. Подобный процесс будет полностью соответствовать принципам реализации группового метода обработки, поскольку позволит на всей поверхности пленки за один цикл получить требуемую регулярную структуру, состоящую из локальных упорядоченных групп различных атомов. Необходимо заметить, что если структурные несовершенства (дислокации, вакансии, дефекты) являются значительными и протяженными нарушениями структуры поверхности, то примеси, как центры локализации процесса зародышеобразования, являются всего лишь незначительными нарушениями волновой регулярности структуры твердого тела, выходящей на поверхность.

Список литературы

1. Боков Ю.С., Борисов Б.С., Ракитин В.В., Самсонов Н.С. От субмикронной к нанотехнологии – М.: Электронная промышленность, 1994.
2. Смирнов В.М. Химия наноструктур. Синтез, строение, свойства: Учеб. пособие. - СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 1996. - 108 с.
3. Нисельсон Л.А. Физико-химические основы получения высокочистых веществ – М.: Высокочистые вещества. 1991.
4. Неволин В.К. Локальная электродинамическая модификация поверхности подложек – М.: Электронная промышленность. - 1993.