

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ДИНАМИЧЕСКОЙ СИЛОВОЙ ЛИТОГРАФИИ В СКАНИРУЮЩЕМ ЗОНДОВОМ МИКРОСКОПЕ

А.Л. Пинаев, Д.С. Чивилихин

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор А.О. Голубок

В современных нанотехнологиях используются три основных метода литографии: пучковые, зондовые и импринтинг [1]. В первом случае осуществляется взаимодействие с веществом жестких ультрафиолетовых или рентгеновских фотонов, электронов или ионов, во втором – наномодификация поверхности осуществляется острым твердотельным зондом сканирующего зондового микроскопа (СЗМ), в третьем – с помощью наноматриц, создаются отпечатки на поверхности.

К преимуществам метода сканирующей зондовой литографии (СЗЛ) [2] следует отнести:

- отсутствие масок, резистов, химического травления;
- высокую локальность взаимодействия с поверхностью подложки;
- относительную дешевизну оборудования.

Основным недостатком СЗЛ в настоящее время является низкая скорость процесса литографии и ограниченная в связи с этим область решаемых задач.

При СЗЛ в области наноконтакта происходит концентрация токов большой плотности, высоких электрических полей и механических давлений. Раздельное или совместное действие этих факторов, активизирующих целый ряд физико-химических явлений (локальный разогрев, пластическая деформация, поляризация, полевое испарение, массоперенос, электрохимические реакции), используется для наномодификации материалов в различных режимах СЗЛ.

Разновидностью СЗЛ является метод динамической силовой литографии (ДСЛ). При ДСЛ осуществляется механический динамический контакт (соударение) зонда с образцом, приводящий к пластической деформации поверхности образца. Обычно с помощью ДСЛ создается нанорельеф на поверхности гомогенных материалов [3].

В данной работе метод ДСЛ использовался для создания микро- и наноструктур из тонких металлических пленок, нанесенных на полимерные подложки. Выбор объекта для исследования обуславливался двумя причинами. Во-первых, применение относительно мягких полимерных подложек позволяет сохранить вершину нанозонда от разрушения в процессе ДСЛ. Во-вторых, тонкопленочные микро- и наноструктуры являются основой наноэлектроники, используются в различных сенсорных устройствах. При размерах, сравнимых с длиной свободного пробега электронов в них проявляются эффекты размерного квантования.

Основной целью исследований было экспериментальное определение возможностей метода ДСЛ на металл-полимерных гетероструктурах, в том числе его пространственного разрешения, при использовании пьезорезонансных зондовых датчиков с W зондами.

Проведено исследование режима динамической силовой литографии (ДСЛ) на тонкой (20 нм) Au пленке, нанесенной на поликарбонатную подложку. Предложена одномерная модель в упругом приближении и выполнены расчеты, демонстрирующие существование оптимального режима ДСЛ. Представлены экспериментальные результаты, выполненные в сканирующем зондовом микроскопе NanoEducator с пьезорезонансным датчиком силового взаимодействия и электрохимически заточенным W зондом. Экспериментально продемонстрировано, что W зонд прорезает металлическую пленку на всю глубину, а ширина реза составляет ~100 нм и определяется радиусом зонда. Показано, что режим ДСЛ в системе «металлическая пленка – полимер» обеспечивает формирование 2D- наноструктур различной

конфигурации и представляет собой простой способ создания элементов нанoeлектроники, нанофотоники и наносенсорики.

Литература

1. Алферов Ж.И., Асеев А.Л., Гапонов С.В., Копьев П.С., Панов В.И., Полторацкий Э.А., Сибельдин Н.Н., Сурис Р.А. Наноматериалы и нанотехнологии. Микросистемная техника. 2003. – № 8. – С. 3–13.
2. Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике. – М.: Техносфера, 2006. – С. 160.
3. Пинаев А.Л., Голубок А.О. Микро- и наномодификация металлического слоя на полимерной подложке в режиме динамической силовой литографии // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2010. – № 68. – С. 67–73.
4. Быков В.А., Васильев В.Н., Голубок А.О. Учебно-исследовательская мини-лаборатория по нанотехнологии на базе сканирующего зондового микроскопа NanoEducator. – Российские нанотехнологии, 2009. – № 5–6.
5. Голубок А.О., Васильев А.А., Кerpелева С.Ю., Котов В.В., Сапожников И.Д. // Датчик локального силового и туннельного взаимодействия в сканирующем зондовом микроскопе. – Научное приборостроение. – 2005. – Т. 15. – № 1. – С. 62–69.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. VII. Теория упругости. – М.: Наука, 1987. – С. 248.
7. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний М. – 1959.
8. Биргер И.А., Пановко Я.Г. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник. Т. 3. – М.: Машиностроение, 1968. – С. 567.
9. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. – М.: Мир, 1989. – С. 510.
10. Магарилл Л.И., Чаплик А.В., Энтин М.В. Спектр и кинетика электронов в криволинейных наноструктурах. Успехи физических наук, 2005. – Т. 175. – № 9. – С. 995–1000.
11. Воронов В.К., Подоплелов А.В. Современная физика: Конденсированное состояние: Учебное пособие. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 336 с.
12. Физические величины. Справочник. Под редакцией И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. М., Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
13. Rabkin E. and Srolovitz D.J. Onset of plasticity in gold nanopillar compression. – Nano Letters. 2007. – V. 7. – № 1. – Pp. 101–107.

УДК 537.87

ФУНКЦИЯ ГРИНА ДЛЯ НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ АНИЗОТРОПНЫХ СРЕД

А.С. Потёмкин

Научный руководитель – к.ф.-м.н., ст.н.с. П.А. Белов

Термин «неопределенная среда» был введен Д.Р. Смитом [1] для обозначения сред, в которых собственные значения тензора проницаемости имеют разные знаки. В природе таких сред не наблюдается, и поэтому их нужно получать искусственно. Современные технологии позволяют создавать метаматериалы, которые можно отнести к указанному типу сред. В области изучения свойств электромагнитного излучения в неопределенных средах получаются весьма интересные результаты. Например, в таких средах возможны явления отрицательного преломления и частичной фокусировки [2, 3], которые теоретически обосновывают возможность получения изображений с разрешением много меньшим длины волны используемого излучения.

В работе анализируется функция Грина для случая неопределенных анизотропных сред. Получено аналитическое выражение этой функции и исследованы ее особые свойства.