



Таблица 1. Зависимость поляризационной части работы выхода W частиц от их размеров и заряда Q

Была рассчитана зависимость работы выхода металла от радиуса частицы для $d = 0.25$ нм. Соответствующие результаты приведены на рисунке (при $Q = 0$). Из рисунка видно, что заметный размерный эффект изменения работы выхода (в данном случае, ее уменьшение) появляется для частиц радиуса $R < 10$ нм, а формула для силы изображения (1) точно описывает силовое взаимодействие электрона с частицами радиуса $R > 0.1$ мкм. При отрицательном заряде частиц их работа выхода уменьшается. Начиная с заряда частиц $Q = 10e$ и выше в расчетных формулах преобладают кулоновские члены, и они дают практически одинаковые результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фоменко В. С., Подчерняева И. А. Эмиссионные и адсорбционные свойства веществ и материалов. М.: Атомиздат, 1975. 320 с.
2. Добрецов Л. Н., Гомоюнова М. В. Эмиссионная электроника. М.: Наука, 1966. 564 с.
3. Термоэмиссионные преобразователи и низкотемпературная плазма / Под. ред. Б. Я. Мойжеса и Г. Е. Пикуса. М.: Наука, 1973. 480 с.
4. Смайт В. Электростатика и электродинамика. М.: ИЛ, 1954. 604 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ТОПОЛОГИИ ИМС НА ОСНОВЕ ДИФРАКТОМЕТРИИ В МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Истомина Н.Л., Спыну М.В.

«МАТИ» Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского

В настоящее время размеры элементов топологии (ЭТ) интегральных микросхем находятся в субмикронном диапазоне. Измерение геометрических разме-

ров при этом связано с созданием метрологического обеспечения [1-3]. Имеющиеся математические модели индикатрис, разработанные для шероховатых металлических поверхностей [4], не подходят для описания излучения, отраженного от периодической структуры, в виде решетки.

В работе [2] показано, что реально получаемым ЭТ соответствует модель трапециевидного профиля с запыленными боковыми поверхностями. Причем их угол наклона сильно влияет на относительную интенсивность дифракционного спектра. В плоскости падения излучения решение получено в приближении скалярной теории дифракции на поверхности сложной формы, представляющей собой трапециевидную периодическую структуру с периодом d , нижним основанием трапеции $(a+b)$, верхним основанием трапеции b и высотой трапеции h . Эффект взаимодействия между падающим излучением и поверхностью ЭТ выражается в виде отдельной фазовой задержки $\exp\{i*k*F(x)\}$, где k - волновое число, а $F(x)$ - функциональная зависимость, выражающая форму профиля поверхности ЭТ, которая с помощью Фурье преобразования может быть выражена как

$$\exp\{i \times k \times F(x)\} = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} B_n \cdot$$

Через вычисления коэффициентов разложения B_n получено выражение для определения интенсивности отражаемого от трапециевидной решетки монохроматического излучения в дальней зоне для экстремальных точек - главных дифракционных максимумов.

$$J_n = \frac{1}{I^2} \left\{ \frac{Rb}{Kn} (\sin a - \sin b) + \frac{2Rg}{Kn} (\sin \gamma - \sin g) + \frac{Rc}{k \frac{H}{A} - Kn} (\sin a - \sin g) + \frac{Rc}{k \frac{H}{A} + Kn} (\sin a - \sin b) + \frac{Rc}{k \frac{H}{A} + Kn} (\sin b + \sin g) \right\}^2 + \frac{1}{I^2} \left\{ \frac{Rb}{Kn} (\cos b - \cos a) - \frac{Rc}{k \frac{H}{A} - Kn} (\cos a - \cos g) + \frac{Rc}{k \frac{H}{A} + Kn} (\cos b - \cos g) \right\}^2$$

де $kH + KnB = \alpha$, $kH - KnB = \beta$, $Kn(B+A) = \gamma$, $KnD = \psi$, $K = \frac{2p}{D}$, $k = \frac{2p}{l}$, B, A, D, H - параметры решетки.

Эта зависимость отличается от решения полученного в работе [5] для периодических МЭС, не учитывающего специфики ЭТ МЭС - наличие склонов травления и разных коэффициентов отражения от дна, вершин и склонов.

В ходе аддитивных и субтрактивных процессов коэффициент отражения изменяется, что приводит к изменению спектральных характеристик при неизменных геометрических характеристиках.

Свойства симметрии в дифракции Фраунгофера не нарушаются при изменении коэффициентов отражения, но при возникновении ассиметрии в профиле ЭТ эти свойства нарушаются.

При наклонном падении зондирующего излучения в плоскости параллельной штрихам решетки и совпадающей с нормалью к ее поверхности, можно добиться того, что индикатрисы рассеивания излучения в главные дифракционные максимумы старших порядков будут иметь достаточные величины малых осей эллипсоидов вращения, чтобы использовать их размеры в вычислениях шероховатости поверхности.

Используя вышеприведенную зависимость для моделирования дифракционного спектра, образованного при нормальном падении зондирующего монохроматического излучения на диэлектрическую тест-структуру с ЭТ субмикронного диапазона, был создан банк данных.

С помощью компьютерного моделирования были синтезированы виртуальные объекты, позволяющие изучать особенности дифракции на непрозрачных тест-структуры с трапециевидной топологией и разными коэффициентами отражения. При получении набора экспериментальных интенсивностей происходит оценивание каждой интенсивности I_n согласно принятой шкале оценок и из всего массива синтезированных спектров выбираются те, которые имеют наибольшее подобие экспериментальному дифракционному спектру. Затем шаг дробится и процедура повторяется снова.

Программная реализация разрабатываемой методики измерения включает в себя базу данных, математический аппарат для расчета интенсивности дифракционных спектров и синтеза спектров, имитирующих образ реального тест-объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валиев К.А. Физика субмикронной литографии. – М.: Наука, 1990. – 528 с.
2. Беклемишев Н.Н., Беневоленский С.Б., Истомина Н.Л. Повышение точности дифрактометрического метода измерения размеров элементов топологии микрорелектронных структур. – Микроэлектроника,

1998, т. 27, №6, с. 448-451

3. Тудоа П.А., Быков В.А., Волк Ч.П. и др. Метрологическое обеспечение измерений длины в микрометровом и нанометровом диапазонах и их внедрение в микроэлектронику и нанотехнологию. Часть I. – Микросистемная техника, 2004, №1, с. 38-44

4. Холопов Г.К. Математическая модель рассеивающих свойств диэлектрических поверхностей. - Оптический журнал, 2000, т. 67, вып. 10, с. 31-39.

5. Волков В.В., Герасимов П.Л., Капаев В.В., Ларионов Ю.В. Оптические методы измерения размеров элементов топологии БИС и СБИС. – Микроэлектроника, 1980, т. 9, вып.6, с. 554-563

ВЫСОКОДИСПЕРСНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОРОШКИ – ПОЛУЧЕНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Кузовникова¹ Л.А., Денисова² Е.А., Чеканова² Л.А.
¹Красноярский филиал Иркутского государственного университета путей сообщения,
²Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН

Малые размеры частиц, развитая поверхность, химическая и диффузионная активность, пониженные температуры плавления, и, следовательно, температуры спекания делают высокодисперсные порошки перспективным объектом для получения спеченных порошковых и композиционных материалов.

Ансамбль малых частиц характеризуется теми свойствами, которые получает твердое тело при уменьшении его размеров. Различные физические свойства по отношению к характерным размерам малости обусловлены соизмеримостью вкладов поверхностного и объемного компонентов в свободную энергию частиц. Получение композиционных порошков представляющих собой сложную структуру (“ядро” состоит из одного элемента, оболочка, окружающее ядро из другого элемента) позволяет также вносить дополнительную энергию. Энергия вносится за счет взаимодействия между “ядром” и оболочкой. Это также приводит к изменению структурных и физических свойств: тепловых, магнитных и др. В связи с этим важным представляется установление связи между физическими свойствами малых частиц и особенностями их строения. В данной работе были получены высокодисперсные порошки Co/Cu и исследованы их структура и магнитные свойства. Высокодисперсные порошки (Co₈₈P₁₂)_{100-x}/Cu_x (концентрация меди изменялась в пределах от 20 до 90 ат. %), представляющие собой ядро аморфного сплава Co₈₈P₁₂, покрытого слоем нанокристаллической меди были получены путем химического осаждения кристаллической оболочки из меди на частицы аморфного Co₈₈P₁₂. Частицы порошка имели сферическую форму, размер большинства частиц составлял (0,5 ÷ 1) мкм. Порошки были получены комбинированным методом химического осаждения, основанным на реакции восстановления металлов из водных растворов соответствующих солей.

Для определения атомной структуры образцов были проведены дифракционные исследования на дифрактометре ДРОН-3 с использованием Cu K_α из-