

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

Н.Л.Истомина, М.В. Спыну
«МАТИ» Российский государственный технологический университет
им. К.Э.Циолковского.

В настоящее время размеры элементов топологии (ЭТ) интегральных микросхем находятся в субмикронном диапазоне. Измерение геометрических размеров 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 $\exp\{i \times k \times F(x)\} = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} B_n$.

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.

$$J_n = \frac{1}{I^2} \left\{ \frac{Rb}{Kn} (\sin a - \sin b) + \frac{2Rg}{Kn} (\sin y - \sin g) + \frac{Rc}{kH/A - Kn} (\sin a - \sin g) + \right. \\ \left. + \frac{Rc}{kH/A + Kn} (\sin a - \sin b) + \frac{Rc}{kH/A + Kn} (\sin b + \sin g) \right\}^2 + \\ + \frac{1}{I^2} \left\{ \frac{Rb}{Kn} (\cos b - \cos a) - \frac{Rc}{kH/A - Kn} (\cos a - \cos g) + \frac{Rc}{kH/A + Kn} (\cos b - \cos g) \right\}^2,$$

где $kH+KnB=\alpha$, $kH-KnB=\beta$, $Kn(B+A)=\gamma$, $KnD=\psi$, $K=\frac{2p}{D}$, $k=\frac{2p}{l}$, 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 асимметрии 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 микроэлектронных 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