

УДК 621.388.008

МОДЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИФFUЗНО ОТРАЖЕННОГО КОГЕРЕНТНОГО МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТОПОЛОГИЧЕСКОГО МИКРОРЕЛЬЕФА ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Аверьянова П.В., Густов А.Е.

ГБОУ ВПО «МАТИ – Российский государственный технологический университет
им. К.Э. Циолковского», Москва, e-mail: apv2@mail.ru

В результате исследования изображения Si, полученного с помощью электронного микроскопа в процессе формирования функционального топологического микрорельефа (ФФТМ), было сделано предположение о том, что диффузно отраженный свет в определенном направлении несет в себе информацию об изменении характеристик поверхности. Сам процесс ФФТМ предложено рассматривать как динамический процесс. Схема измерения параметров технологического процесса предположительно может быть основана на анализе реализации случайной функции диффузного отражения в заданном направлении. В ходе исследования мы пришли к выводу, что параметром случайной реализации напрямую связанным со скоростью ФФТМ является спектральная плотность. Полученные результаты можно использовать для создания программного обеспечения контроля скорости ФФТМ. При разработке программного обеспечения необходимо учитывать, что определение спектральной плотности реализации случайной функции должно происходить с достаточной точностью, имея в виду при этом определение оптимального периода измерения интенсивности и учитывая ошибки определения спектральной плотности.

Ключевые слова: формирование функционального топологического микрорельефа (ФФТМ), диффузно отраженное излучение, спектральная плотность, случайная функция

THE MODEL ANALYSIS OF COHERENT MONO-CHROMATIC LIGHT DIFFUSIVELY REFLECTED FROM THE FUNCTIONAL TOPOLOGICAL MICRO-RELIEF OF THE INTEGRAL MICRO-CHIPS

Averyanova P.V., Gustov A.E.

МАТИ – Russian State Technological University, Moscow, e-mail: apv2@mail.ru

While studying the picture Si received with the help of the electronic microscope in the process of shaping the multi-functional topological micro-relief a supposition has been made that the diffusive light reflected in a definite direction contains information concerning changes in the characteristics of the surface. We suggest considering the process as a dynamic one. The measuring table of parameters of the technological process can be based on the analysis of realization of random function of diffusive reflection in a given direction. In our research we have arrived at the conclusion that spectral density is the parameter of random realization directly connected with the speed of functional topological micro-relief. To result received may be used to produce the software to check the speed of functional topological micro-relief. While creating the software it is necessary to take into consideration the fact that determining spectral density of realization of the random function is to be achieved with a reliable degree of precision. Besides, it is imperative to mind the optimal period of measuring intensity and take into account errors in ascertaining spectral density.

Keywords: functional topological micro-relief, diffusive reflected light, spectral density, random function

Контроль параметров процесса формирования функционального топологического микрорельефа (ФФТМ) с использованием анализа диффузно отраженного излучения проводится в одной из точек на поверхности подложки или в нескольких точках [1]. При изготовлении интегральных микросхем с очень малыми размерами элементов транзисторных структур актуальным является проблема измерения контроля параметров технологических процессов, в частности скорости ФФТМ, как всей поверхности, так и элементов образуемых структур. Наиболее широко распространенным методом, является метод, основанный на измерении параметров отраженного излучения, в том числе отраженное излуче-

ние от ранее сформированной дифракционной решетки, с периодами порядка 100 нм. В ряде случаев можно говорить о точности измерений 0,1 нм. Указанные методы предлагаются рядом авторов [2-9]. Однако сам процесс формирования дифракционных решеток на поверхности с целью организации последующего контроля, является технологически сложным, и для этого требуется специальная аппаратура или использование известных элементов интегральных схем, параметры которых должны быть измерены с высокой точностью.

Целью работы является проведение модельного анализа диффузно отраженного когерентного монохроматического излучения от функционального топологического

микрорельефа. В ходе исследования, было рассмотрено изображение, полученное с помощью электронного микроскопа, которое показывает, что в процессе ФФТМ поверхность Si развивается и представляет собой, как бы случайную «дифракционную решетку», отражение света от которой носит характер сочетания зеркального и диффузно отраженного света. При этом неоднородности на поверхности, от которых отражается свет, могут иметь размеры того же порядка, что и дифракционная решетка, специально формируемая на поверхности. Поэтому можно предположить, что диффузно отраженный свет в определенном направлении несет в себе информацию об изменении характеристик поверхности в процессе ФФТМ.

Сам процесс ФФТМ предлагается рассматривать, как динамический процесс. Начало динамического процесса характерно так называемым «переходным процессом», т.е. нестационарной стадией. В нашем случае, данная стадия характерна для первого момента, когда пластины Si помещают в плазму, затем происходит затухание переходного процесса и выход системы на установившийся режим, и тогда случайные процессы, протекающие в плазме, могут считаться стационарными. Время от переходного к стационарному процессу точно нам неизвестно, однако мы предполагаем, что это $t \ll t$ процесса и должно приблизительно составлять 1-2% от t процесса.

При этом мы предполагаем, что анализ изменения интенсивности в потоке диффузно отраженного света имеет характер случайной функции, при этом, эта случайная функция может быть названа стационарной на достаточно большом участке времени протекания процесса. Схема измерения параметров технологического процесса предположительно может быть основана на анализе реализации случайной функции диффузного отражения в заданном направлении. При этом следует учесть, что параметры самого процесса плазмо-химического травления будут являться постоянными данными, т.е. иными словами фиксирован-

ными будут состав рабочего газа, давление, скорость потока рабочего газа, температура, плотность мощности разряда, частота питающего генератора.

Параметром случайной реализации, напрямую связанным со скоростью ФФТМ или элементов структурных интегральных схем, является спектральная плотность и оптимальный период измерения интенсивности. Полученные результаты можно использовать для создания программного обеспечения контроля скорости ФФТМ. Программное обеспечение для определения спектральной плотности реализации случайной функции должно обеспечивать методическую погрешность, привносимую на этапе модельного анализа не более 5%, при определении оптимального периода измерения интенсивности с учетом погрешности определения спектральной плотности.

Список литературы

1. Соيفер В.А. Методы компьютерной оптики: Учеб. для вузов. – 2-е изд. испр. – М.: Физматлит, 2003. – 688 с.
2. Досколович, Л.Л., Кадомина, Е.А., Кадомин, И.И. Решение задачи рефлектометрии для решетки с трапецидальным профилем / Л.Л. Досколович, Е.А. Кадомина, И.И. Кадомин // Компьютерная оптика. – 2008. – Т. 32, № 1. – С. 29-32.
3. Abdulhalim, I. Simplified optical scatterometry for periodic nanoarrays in the near-quasi-static limit / I. Abdulhalim // Appl. Opt. – 2007. – Vol.46, No.12. – P. 2219-2228.
4. Al-Assaad, R.M., Byrne, D.M. Error analysis in inverse scatterometry. I.-Modeling / R.M. Al-Assaad, D.M. Byrne // J.Opt.Soc.Am.A. – 2007. – Vol.24, No.2. – P. 326-338.
5. Gereige I. Recognition of diffraction-grating profile using neural network classifier in optical scatterometry / I. Gereige [and other] // J. Opt. Soc. Am. A. – 2008. – Vol. 25, No.7. – P. 1661-1667.
6. Logofatu, P. Scatterometry, an optical metrology technique for lithography / P. Logofatu, D. Apostol, V. Damian, V. Nascov, etc. // Semiconductor Conference, 2004, CAS 2004 Proceedings. – Vol. 2. – P.517-520.
7. Moharam, M.G. Formula=tion for stable and efficient implementation of the rigorous coupled-wave analysis of binary gratings/ M.G. Moharam, E.B. Grann, D.A. Pommet, T.K. Gaylord // J.Opt.Soc.Am.A. – 1995. – Vol.12, No. 5. – P. 1068-1076.
8. Robert, S., Mure-Ravaud, A., Lacour, D. Characterization of optical diffraction grating by use of a neural method / S. Robert, A. Mure-Ravaud, D. Lacour // J.Opt.Soc.Am.A. – 2002. – Vol. 19(1). – P. 24-32.
9. Wei, S., Li, L. Measurement of photo resist grating profiles based on multiwavelength scatterometry and artificial neural network / S. Wei, L. Li // Appl. Opt. – 2008. – Vol. 47, No. 13. – P. 2524-2532.