

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОФИЛЯ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ АППРОКСИМАЦИЙ ОТРАЖЕННОГО ПОЛЯ

Бабин Сергей Владимирович¹ (директор, e-mail: sb@abeamtech.com),

Досколович Леонид Леонидович² (вед. научный сотрудник, e-mail: leonid@smr.ru),

Кадомин Иван Иванович³ (аспирант, e-mail: kadomin_i@mail.ru),

Кадомина Елена Андреевна³ (аспирант, e-mail: kadomina_elena@mail.ru),

Казанский Николай Львович² (зам. директора, e-mail: kazansky@smr.ru)

¹ Abeam Technologies, 94546, 5286 Dummigan Ct. Castro Valley, CA, United States

² Учреждение Российской академии наук Институт систем обработки изображений РАН,

³ Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королёва

Аннотация

Представлены два новых метода решения обратной задачи рефлектометрии для оценки параметров дифракционной решетки с трапецеидальным профилем. Методы основаны на построении полиномиальных аппроксимаций разного вида для параметров нулевого отраженного порядка дифракции. Использование полиномиальных аппроксимаций вместо решения задачи дифракции обеспечивает возможность оценки параметров решетки в реальном времени. Приведенные результаты численного исследования свидетельствуют о высокой точности и скорости методов.

Ключевые слова: дифракционная решетка, контроль параметров микро- и наноструктур, рефлектометрия.

Введение

При изготовлении микро- и наноструктур актуальной является проблема измерения и контроля их геометрических параметров. В последние годы возрос интерес к методам оптической рефлектометрии [1–8], поскольку они позволяют быстро бесконтактным неразрушающим способом измерять параметры микро- и наноструктур. Сущность метода рефлектометрии заключается в определении параметров исследуемой структуры по измерениям характеристик отраженного поля при различных параметрах сканирующего излучения (длина волны, поляризация, угол падения излучения). В работах [5–7] было показано, что точность определения геометрических параметров структур может превышать величину 1 нм.

Решение обратной задачи рефлектометрии состоит в определении геометрических параметров профиля решетки, обеспечивающих совпадение расчетных и измеренных значений параметров нулевого отраженного порядка дифракции. При этом прямая задача, состоящая в расчете отраженного поля при известных параметрах структуры, решается в рамках строгой электромагнитной теории.

В данной статье рассматривается решение обратной задачи оценки параметров дифракционной решетки с трапецеидальным профилем. В предыдущей работе [8] авторами были представлены два метода решения аналогичной задачи. Метод 1 в [8] был основан на предварительном поиске параметров структуры по таблице характеристик отраженного поля с последующим использованием процедур оптимизации для уточнения параметров структуры. Метод 2 основывался на использовании нейронной сети. Предложенные в [8] методы обладают как достоинствами, так и недостатками. Так, метод 1 поиска по таблице с последующей оптимизацией

позволяет определять параметры трапецеидального профиля с высокой точностью (порядка 10^{-3} нм для линейных параметров, и 10^{-4} градуса – для угловых), но обладает относительно невысокой скоростью работы (несколько секунд на одно измерение). Метод 2, использующий нейронную сеть, обладает несколько меньшей точностью (порядка 10^{-2} нм для линейных параметров, и 10^{-3} градуса – для угловых), но имеет существенно более высокую скорость работы (несколько десятков измерений в секунду). Также к недостаткам метода 2 следует отнести факт отсутствия четких критериев для выбора архитектуры сети, по которым можно было бы заранее определить точность решения обратной задачи.

В данной работе предложено два новых метода определения параметров дифракционных решеток с трапецеидальным профилем. Аналогично методу 1 в [8], методы основаны на предварительном поиске по таблице с последующей оптимизацией. В отличие от метода 1, для расчета сигнатур в процессе оптимизации используются полиномиальные интерполяции разного вида. Эффективность предложенных методов оценивается на примере определения параметров трапецеидального профиля. Приведенные результаты численных экспериментов показывают высокую точность и скорость предложенных методов.

Постановка задачи

Профиль симметричной дифракционной решетки с клином травления можно представить в виде равнобедренной трапеции (рис.1). Такой профиль однозначно описывается тремя параметрами: высотой решетки (h), длиной нижнего основания (p) и углом наклона боковых сторон (α). Период решетки (d) и показатели преломления материалов решетки и подложки остаются неизменными.

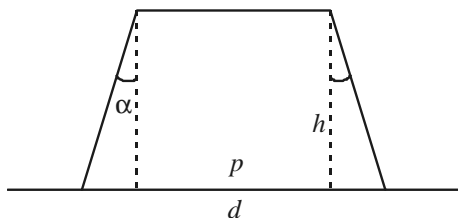


Рис. 1. Профиль решётки с трапецидальным профилем

Представим набор оцениваемых параметров профиля трапецидальной решетки в виде вектора $\mathbf{g} = (h, p, \alpha)$. Задача рефлектометрии состоит в определении \mathbf{g} по измерениям параметров нулевого отраженного порядка дифракции при различных параметрах падающего пучка света $\mathbf{v}_i = (\lambda_i, \theta_i, \varphi_i)$, $i = 1, \dots, M$, где λ_i – длина волны, θ_i – угол падения, φ_i – угол поляризации, M – число измерений. В нулевом отраженном порядке формируется эллиптически поляризованный пучок, у которого измеряются интенсивность отраженного порядка I^R или параметры эллипса поляризации [9,10]. Эллипс поляризации описывается действительными параметрами $\tan \Psi$ и $\cos \Delta$, определяемыми из уравнения

$$\tan \Psi \exp(i\Delta) = R_E / R_H, \quad (1)$$

где R_E, R_H – комплексные коэффициенты для волн Е- и Н-типа, образующих эллиптически поляризованный пучок [3,7]. В качестве параметров поляризации также используются величины

$$\alpha = \sqrt{\frac{\tan \Psi - 1}{\tan \Psi + 1}}, \quad \beta = \cos \Delta \sqrt{1 - \alpha^2}. \quad (2)$$

Методы определения параметров профиля решетки

Для простоты изложения будем полагать, что измеряемой характеристикой отраженного светового пучка является интенсивность нулевого порядка I^R . Оценка параметров профиля основана на минимизации функции ошибки

$$\varepsilon(\mathbf{g}) = \|\mathbf{S}(\mathbf{g}) - \mathbf{S}_0\| \rightarrow \min, \quad (3)$$

представляющей разность между расчетными $\mathbf{S}(\mathbf{g}) = (I^R(\mathbf{g}; \mathbf{v}_1), \dots, I^R(\mathbf{g}; \mathbf{v}_M))$ и измеренными значениями интенсивностей $\mathbf{S}_0 = (I^R(\mathbf{v}_1), \dots, I^R(\mathbf{v}_M))$. Векторы $\mathbf{S}(\mathbf{g})$ и \mathbf{S}_0 называют сигнатурами. Расчетные значения интенсивностей $I^R(\mathbf{g}; \mathbf{v}_i)$ в $\mathbf{S}(\mathbf{g})$ являются функциями от определяемых параметров \mathbf{g} , значения \mathbf{v}_i рассматриваются как параметры. Расчет $\mathbf{S}(\mathbf{g})$ (решение прямой задачи) основан на строгом решении задачи дифракции по методу Фурье-мод [14–17].

Для решения задачи оптимизации (3) предложено два метода. Первый метод основан на построении полиномиальных аппроксимаций для интенсивностей нулевого отраженного порядка

$$\tilde{I}^R(\mathbf{g}; \mathbf{v}_m) = \sum_{i_1 i_2 i_3, \sum i_j \leq K_m} a_{i_1 i_2 i_3}(\mathbf{v}_m) h^{i_1} p^{i_2} \alpha^{i_3}, \quad (4)$$

где K_m – степень полинома. Как правило, диапазоны изменения параметров h, p и α известны заранее (определяются технологией) и составляют несколько десятков нанометров. При этом использование полиномиальных аппроксимаций можно рассматривать как вариант теории возмущений. Для расчета коэффициентов полинома $a_{i_1 i_2 i_3}(\mathbf{v}_m)$ выбирается некоторое обучающее множество $\mathbf{T} = \{\mathbf{g}_i, i = 1, \dots, L\}$ «характерных» параметров решетки. По обучающему множеству параметров вычисляются интенсивности нулевого отраженного порядка. Далее, коэффициенты в (4) вычисляются по методу наименьших квадратов из условия минимума квадрата разности между $\tilde{I}^R(\mathbf{g}; \mathbf{v}_m)$ и $I^R(\mathbf{g}; \mathbf{v}_m)$ при $\mathbf{g} \in \mathbf{T}$. Выбор обучающего множества зависит от исследуемой структуры. Представления (4) позволяют эффективно решать задачу оптимизации (3). Основная вычислительная нагрузка при этом приходится на предварительный этап построения полиномов (4). Вычисление $\mathbf{S}(\mathbf{g})$ в (3) вместо строгого решения задач дифракции сводится к вычислению полиномов. Представления (4) также позволяют аналитически вычислить производные функции ошибки (3).

Второй метод основан на построении таблицы сигнатур $\mathbf{S}(\mathbf{g})$ и последующей сплайновой интерполяции между узлами таблицы. Построение таблицы сигнатур происходит следующим образом. Область допустимых значений параметров покрывается равномерной сеткой с определенным по каждому параметру шагом Δ_i ($i = h, p, \alpha$). В каждом узле сетки, определяемом набором индексов $\mathbf{k} = (k_h, k_p, k_\alpha)$, рассчитывается соответствующая сигнатура $\mathbf{S}(\mathbf{g}_k)$. Таким образом, формируется «таблица» параметров структуры и соответствующих им сигнатур. Далее по этой таблице строится N-размерный сплайн $\tilde{\mathbf{S}}(\mathbf{g})$. Сплайн $\tilde{\mathbf{S}}(\mathbf{g})$ используется при решении задачи оптимизации (3). При этом вместо вычисления сигнатур $\mathbf{S}(\mathbf{g})$, требующих решения задачи дифракции, используются значения интерполяционного сплайна $\tilde{\mathbf{S}}(\mathbf{g})$.

Численные результаты

Приведем результаты работы двух предложенных методов для кремниевой решетки с симметричным трапецидальным профилем (рис.1). Будем считать, что период решетки $d = 140$ нм, а измеряемые параметры находятся в следующих диапазонах: $h \in [310, 340]$ нм, $p \in [86, 106]$ нм, $\alpha \in [1, 5]^\circ$.

Расчет сигнатур проводился при следующих параметрах падающего пучка: поляризация падающей волны – постоянная, ТМ (Е-волна), угол падения – постоянный, 71° , длина волны – переменная, от 300

до 900 нм. Число длин волн при расчете сигнатур в первом методе равно 50, во втором – 20. Указанные выборки из спектра падающего пучка являются достаточными для решения задачи оценки параметров с высокой точностью (лучше 0,1 нм).

Для оценки рабочих характеристик методов использовалась следующая схема численного эксперимента. В указанных выше диапазонах параметров (h, p, α) случайно генерируется тройка параметров \mathbf{g} , для которой вычисляется вектор интенсивностей отраженного сигнала $\mathbf{S}_0(\mathbf{g})$. Сигнатура $\mathbf{S}_0(\mathbf{g})$ рассматривается как измеренный сигнал. По $\mathbf{S}_0(\mathbf{g})$ предложенными методами находятся оценки параметров $\tilde{\mathbf{g}}$, которые сравниваются с исходными параметрами \mathbf{g} . По результатам сравнения оценивается точность определения параметров $(\Delta h, \Delta p, \Delta \alpha) = \tilde{\mathbf{g}} - \mathbf{g}$.

Для оценки параметров первым методом были построены аппроксимации для интенсивностей нулевого отраженного порядка в виде полиномов 6-ой степени

$$\tilde{R}_m(\mathbf{g}; \lambda_m) = \sum_{i_1 i_2 i_3, \sum i_j \leq 6} a_{i_1 i_2 i_3}(\lambda_m) h^{i_1} p^{i_2} \alpha^{i_3}. \quad (5)$$

Обучающее множество \mathbf{T} для построения полиномиальных аппроксимаций (5) формировалось из 2000 сигнатур, соответствующих множеству троек параметров (h, p, α) , сгенерированных случайным образом в заданном выше диапазоне. Время построения аппроксимаций (5) на стандартном персональном компьютере составляет 3-4 часа.

Рис. 2а-в демонстрируют результаты работы первого метода для 200 случайно сгенерированных троек параметров (h, p, α) . Оценка параметров осуществлялась на основе минимизации невязки (3) с использованием метода Левенберга-Марквардта [11,12]. При этом для вычисления $\mathbf{S}(\mathbf{g})$ в (3) использовались полиномиальные аппроксимации (5).

Рис. 2а-в показывают, что первый метод позволяет определять параметры трапецеидального профиля с высокой точностью, превышающей 0,1 нм. Время решения задачи составляет десятые доли секунды.

Для оценки параметров по второму методу была построена таблица сигнатур с шагами дискретизации 1 нм по параметрам h и p и $0,4^\circ$ по параметру α . По таблице был построен интерполяционный сплайн. Время расчета таблицы и построения аппроксимирующего табличные данные сплайна на стандартном персональном компьютере составляет 2-3 часа.

Рис.3а-в демонстрируют результаты работы второго метода для 200 случайно сгенерированных троек параметров (h, p, α) . Оценка параметров осуществлялась на основе минимизации невязки (3) с использованием метода Левенберга-Марквардта [11,12]. При этом для вычисления $\mathbf{S}(\mathbf{g})$ в (3) использовалась сплайновая аппроксимация таблицы сигнатур.

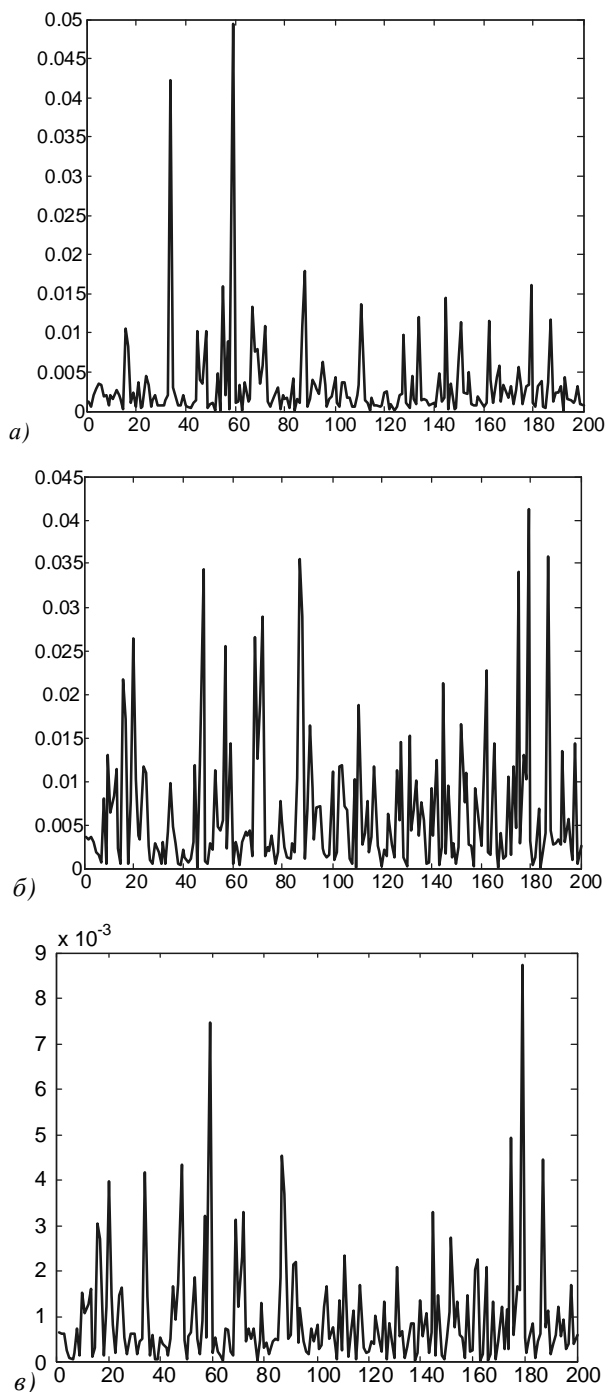
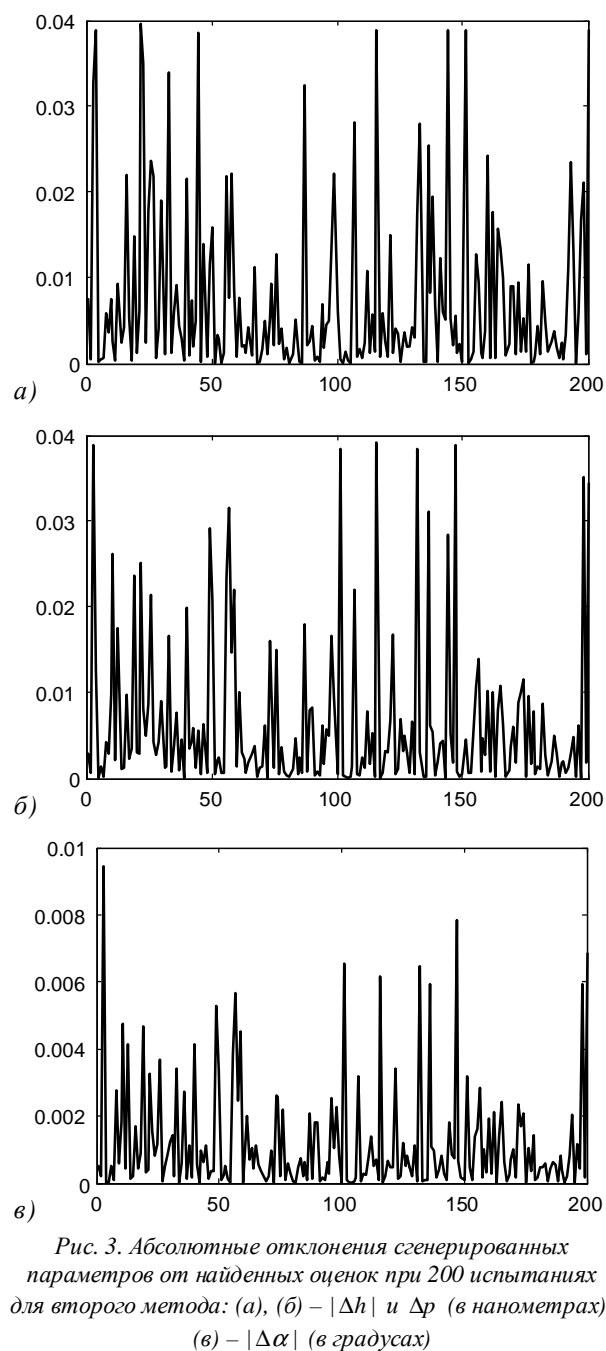


Рис. 2. Абсолютные отклонения сгенерированных параметров от найденных оценок при 200 испытаниях для первого метода: (а), (б) – $|\Delta h|$ и $|\Delta p|$ (в нанометрах), (в) – $|\Delta \alpha|$ (в градусах)

Рис.3а-в показывают, что второй метод также позволяет определять параметры трапецеидального профиля с высокой точностью, превышающей 0,1 нм. Время решения задачи также составляет десятые доли секунды.

Методы были использованы для оценки параметров профиля дифракционных структур по результатам реальных измерений.



На рис.4 точечными линиями показаны измеренные спектры $\alpha(\lambda)$ и $\beta(\lambda)$ (2) дифракционной решетки из кремния с периодом $d=140$ нм, выполненные на эллипсометре UV1280SE компании TLA TENCOR. Предполагалось, что профиль решетки имеет трапециевидную форму (рис.1). Для оценки параметров профиля были использованы оба рассмотренных метода. Методы выдали фактически совпадающие оценки параметров: $h=321,6$ нм, $p=98,16$ нм, $\alpha=2,9^\circ$. Рассчитанные спектры $\alpha(\lambda)$ и $\beta(\lambda)$ трапециевидной структуры с оцененными параметрами показаны на рис.4 непрерывными линиями. Сравнение расчетных и измеренных спектров демонстрирует хорошую

степень совпадения спектров. Для оценки степени совпадения спектров в эллипсометрических измерениях используется выборочный коэффициент корреляции (GOF). Для рассмотренного случая $GOF_\alpha = 0,966$ и $GOF_\beta = 0,962$. Отличие в спектрах на рис.4 вызвано неточностью модели. Измеряемая структура имеет профиль, отличный от идеального трапециевидного профиля.

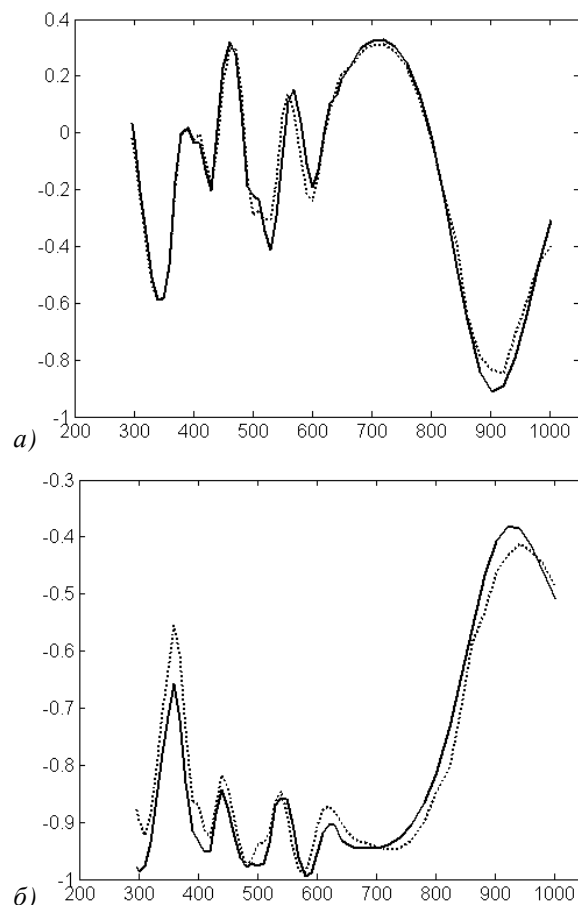


Рис. 4. Спектры $\alpha(\lambda)$ (а) и $\beta(\lambda)$ (б) трапециевидной решетки с оцененными параметрами. Точечные линии – измеренные спектры, непрерывные – расчетные спектры

Заключение

Результаты численных экспериментов свидетельствуют о высокой точности предложенных методов оценки параметров дифракционных структур. Математическая точность нахождения линейных параметров для обоих рассмотренных методов выше 0,1 нм. Указанная точность превышает физические обоснованные требования. Скорость работы предложенных методов достаточна для выполнения около десятка измерений в секунду.

Результаты экспериментальных исследований демонстрируют применимость методов для реальных эллипсометрических измерений.

Предложенные методы очевидным образом допускают обобщение на задачи идентификации профиля с большим числом параметров.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке российско-американской программы «Фундаментальные исследования и высшее образование» (BRHE), гранта Президента РФ поддержки ведущих научных школ (НШ-3086.2008.9), грантов РФФИ № 07-01-96602, 07-07-91580, 08-07-99005, 09-07-92421 и Фонда содействия отечественной науке.

Литература

1. Gereige, I. Recognition of diffraction-grating profile using a neural network classifier in optical scatterometry / I. Gereige [and other] // J. Opt. Soc. Am. A. – 2008. – Vol.25, No.7. – P. 1661-1667.
2. 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.
3. Wei, S., Li, L. Measurement of photoresist grating profiles based on multiwavelength scatterometry and artificial neural network / S. Wei, L. Li, // Appl. Opt. – 2008. – Vol.47, No.13. – P. 2524-2532.
4. 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.
5. Robert, S., Mure-Ravaud, A., Lacour, D. Characterization of optical diffraction gratings 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.
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. Formulation 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. Досколович, Л. Л., Кадомина, Е. А., Кадомин, И. И. Решение задачи рефлектометрии для решетки с трапецеидальным профилем / Л. Л. Досколович, Е. А. Кадомина, И. И. Кадомин // Компьютерная оптика. – 2008. – Т.32, № 1. – С. 29-32.
9. Johs, B. Optical analysis of complex multilayer structures using multiple data types / B. Johs, R. H. French, F. D. Kalk, W. A. McGahan, J. A. Woollam // Optical Interference coating, Edited by F. Abeles. 1994. – Proc. SPIE, vol. 2253. – P. 1096-1106.
10. Tompkins, H. G., McGahan, W. A. Spectroscopic Ellipsometry and Reflectometry / H. G. Tompkins, W. A. McGahan // John Wiley & Sons, Inc. – 1999. – 228 p.
11. Brent, R. P. Algorithms for Minimization Without Derivatives / R. P. Brent // Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. – 1973.
12. Marquardt, D W. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters / D W. Marquardt // J. Soc. Indust. Appl. Math. – 1963. – Vol.11. – P. 431-441.
13. Press, W. H. Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing / W. H. Press, B. P. Flannery, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling // Cambridge University Press. – 1993.

14. Li, L. Use of Fourier series in the analysis of discontinuous periodic structures / L. Li // J. Opt. Soc. Am. A. – 1996. – Vol.13, No.9. – P. 1870-1876.
15. Peng, S., Morris, G. M. Efficient implementation of rigorous coupled-wave analysis for surface-relief gratings / S. Peng, G. M. Morris // J. Opt. Soc. Am. A. – 1995. – Vol. 12, No. 5. – P. 1087-1096.
16. Li, L. Fourier modal method for crossed anisotropic gratings with arbitrary permittivity and permeability tensors / L. Li // J. Opt. A: Pure Appl. Opt. – 2003. – No.5. P. 345-355.
17. Li, L. New formulation of the Fourier modal method for crossed surface-relief gratings / L. Li // J. Opt. Soc. Am. A. – 1997. – Vol. 14, No. 10. – P. 2758-2767.

References

1. Gereige, I. et al Recognition of diffraction-grating profile using a neural network classifier in optical scatterometry // J. Opt. Soc. Am. A. – 2008. – Vol.25, No.7. – P. 1661-1667.
2. Al-Assaad, R. M., Byrne, D. M. Error analysis in inverse scatterometry. I-Modeling // J. Opt. Soc. Am. A. – 2007. – Vol.24, No.2. – P. 326-338.
3. Wei, S., Li, L. Measurement of photoresist grating profiles based on multiwavelength scatterometry and artificial neural network // Appl. Opt. – 2008. – Vol.47, No.13. – P. 2524-2532.
4. Abdulhalim, I. Simplified optical scatterometry for periodic nanoarrays in the near-quasi-static limit // Appl. Opt. – 2007. – Vol.46, No.12. – P. 2219-2228.
5. Robert, S., Mure-Ravaud, A., Lacour, D. Characterization of optical diffraction gratings by use of a neural method // J. Opt. Soc. Am. A. – 2002. – Vol. 19 (1). – P. 24-32.
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. Formulation 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. Doskolovich, L. L., Kadomina, E. A., Kadomin, I. I. Solving scatterometry problem for trapezoidal diffraction gratings // Computer Optics. – 2008. – Vol. 32, No. 1. – P. 29-32. – (in Russian)
9. Johs, B. Optical analysis of complex multilayer structures using multiple data types / B. Johs, R. H. French, F. D. Kalk, W. A. McGahan, J. A. Woollam // Optical Interference coating, Edited by F. Abeles. 1994. – Proc. SPIE, vol. 2253. – P. 1096-1106.
10. Tompkins, H. G., McGahan, W. A. Spectroscopic Ellipsometry and Reflectometry // John Wiley & Sons, Inc. – 1999. – 228 p.
11. Brent, R. P. Algorithms for Minimization Without Derivatives // Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. – 1973.
12. Marquardt, D W. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters // J. Soc. Indust. Appl. Math. – 1963. – Vol.11. – P. 431-441.
13. Press, W. H. Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing / W. H. Press, B. P. Flannery, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling // Cambridge University Press. – 1993.

14. **Li, L.** Use of Fourier series in the analysis of discontinuous periodic structures // J. Opt. Soc. Am. A. – 1996. – Vol.13, No.9. – P. 1870-1876.
15. **Peng, S., Morris, G. M.** Efficient implementation of rigorous coupled-wave analysis for surface-relief gratings // J. Opt. Soc. Am. A. – 1995. – Vol. 12, No. 5. – P. 1087-1096.
16. **Li, L.** Fourier modal method for crossed anisotropic gratings with arbitrary permittivity and permeability tensors // J. Opt. A: Pure Appl. Opt. – 2003. – No.5. P. 345-355.
17. **Li, L.** New formulation of the Fourier modal method for crossed surface-relief gratings // J. Opt. Soc. Am. A. – 1997. – Vol. 14, No. 10. – P. 2758-2767.

TRAPEZOIDAL DIFFRACTION GRATING PROFILE PARAMETERS ESTIMATION BASED ON POLYNOMIAL APPROXIMATIONS OF THE REFLECTED FIELD

*Babin S.V.*¹, *Doskolovich L.L.*², *Kadomin I.I.*³, *Kadomina E.A.*³, *Kazansky N.L.*²

¹ *Abeam Technologies, 94546, 5286 Dunnigan Ct. Castro Valley, CA, United States,*

² *Image Processing Systems Institute of the RAS,*

³ *S.P. Korolyov Samara State Aerospace University*

Abstract

Two new techniques for solving inverse scatterometry problem for the estimation of trapezoidal diffraction grating parameters are proposed. The techniques are based on designing the polynomial interpolations of different kind for calculation of 0-th diffraction order parameters. The use of polynomial interpolations instead of solving the diffraction problem allows one real-time estimation of grating parameters. Proposed techniques demonstrate high accuracy in the numerical simulations and possess computational efficiency allowing high speed measurements in mass fabrication.

Key words: diffraction grating, micro- and nanostructures critical dimension measurements, scatterometry.

В редакцию поступила 19.03.2009г.