

УДК 535.421+535.5

DOI: 10.18384/2310-7251-2016-1-74-87

ВЛИЯНИЕ ПРОФИЛЯ МИКРОРЕЛЬЕФА ПЕРИОДИЧЕСКИХ АНИЗОТРОПНЫХ СТРУКТУР НА ИХ ДИФРАКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

Соломатин А.С.

*Московский государственный областной университет,
Учебно-научная лаборатория теоретических и практических нанотехнологий
105005, г. Москва, ул. Радио, д. 10а, Российская Федерация*

Аннотация. Получены расчетные данные о влиянии профиля периодического микро рельефа на оптические дифракционные свойства. Предложен метод расчета дифракционной картины, позволяющий рассчитать параметры рельефа для задания требуемых оптических свойств пространственно неоднородной анизотропной структуры.

Ключевые слова: дифракция, оптическая анизотропия, двулучепреломление, микро рельеф, профиль рельефа, пространственно неоднородные структуры, оптические свойства.

EFFECT OF THE MICRORELIEF SURFACE OF PERIODIC ANISOTROPIC STRUCTURES ON THEIR DIFFRACTION PROPERTIES

A. Solomatin

*Moscow State Region University, Education & Science Lab for Theoretical and Applied Nanotechnology,
ul. Radio 10A, 105005 Moscow, Russia*

Abstract. We have obtained data on the effect of the periodic microrelief profile on optical diffraction properties. A method is proposed for calculating a diffraction pattern, which makes it possible to estimate the relief parameters for specified optical properties of a spatially nonuniform anisotropic structure.

Keywords: *diffraction, optical anisotropy, birefringence, microrelief, relief profile, spatially nonuniform structures, optical properties.*

1. Введение

Данная работа посвящена исследованию влияния профиля периодического микрорельефа на оптические дифракционные свойства пространственно неоднородной анизотропной структуры. Такие структуры пока еще недостаточно широко используются в дисплейных системах и других оптических элементах, хотя их использование позволяет получить некоторые преимущества перед известными устройствами за счет управления поляризацией излучения. Двулучепреломляющие свойства материалов имеют большое значение при изготовлении таких структур. При изготовлении возникают технологически наиболее удобные формы рельефа, которые актуально исследовать с целью определения методов расчета дифракционной картины, позволяющих рассчитать параметры рельефа для задания требуемых оптических свойств пространственно неоднородной анизотропной структуры.

Оптически анизотропные полимерные материалы с микрорельефом и процесс приготовления образцов описаны в [1–14]. Для компьютерного моделирования дифракции на структурах с пространственной периодичностью оптических параметров вещества и рельефа поверхности было рассмотрено прохождение света через слоистую двулучепреломляющую структуру с периодическим изменением показателей преломления и поверхностным микрорельефом. Использован метод расчета комплексной амплитуды световой волны при прохождении через последовательные слои структуры и дифракционной эффективности для нормального падения света, описанный в [6] и применявшийся в [14–20].

Возможно рассматривать любые направления падающей волны и ее поляризацию, любую ориентацию решетки (при условии постоянства тангенциальной составляющей вектора обратной решетки), любую анизотропию среды.

Описанный метод расчета дифракции на анизотропных решетках с периодическим микрорельефом обеспечивает высокую точность и простую процедуру счета. Такой метод может быть использован для управления направлением распространения и поляризации световых пучков света, проходящих через кристаллооптические среды с неоднородной поверхностью, для расчета однородной подсветки жидкокристаллических дисплеев при применении таких подложек в качестве пленок – усилителей яркости

(Brightness Enhancement Films), для расчета оптических характеристик ЖК дисплеев с неоднородным зазором, например, зенитно-бистабильных дисплеев (Zenithal Bistable Devices).

В данной работе этот метод использован для теоретического моделирования как отраженного, так и прошедшего сквозь решетку светового потока.

2. Компьютерное моделирование

2.1. Периодические структуры и параметры луча света

Сравнивались следующие типы:

А) Синусоидальный, период 2,52 мкм (четыре длины волны), глубина рельефа от 0,1 до 3 длин волны (от 0,63 мкм до 1,89 мкм), подстилающий слой 0,63 мкм (учитывается дополнительно к слою с рельефом).

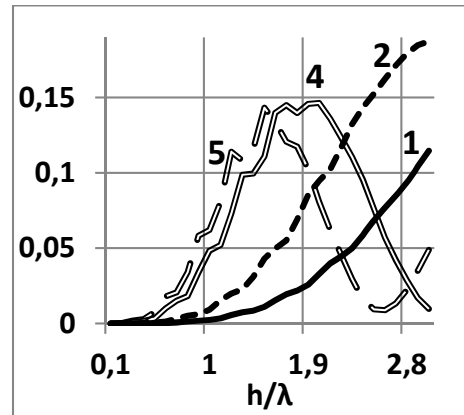
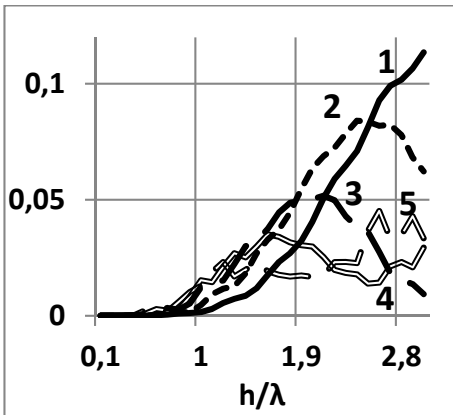
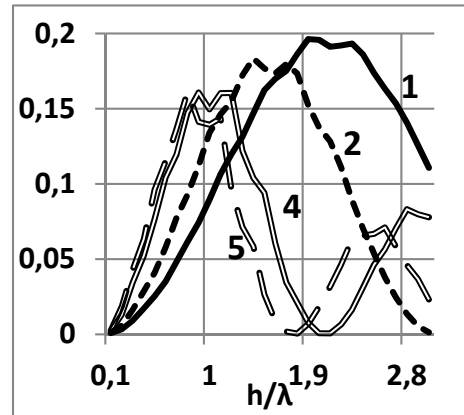
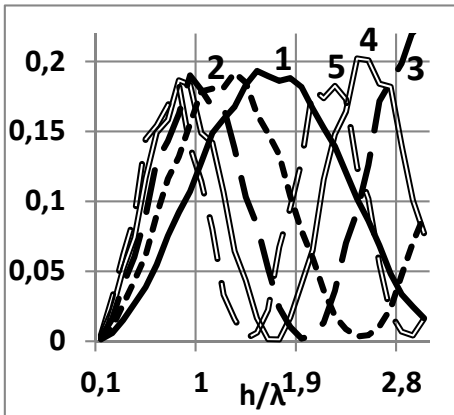
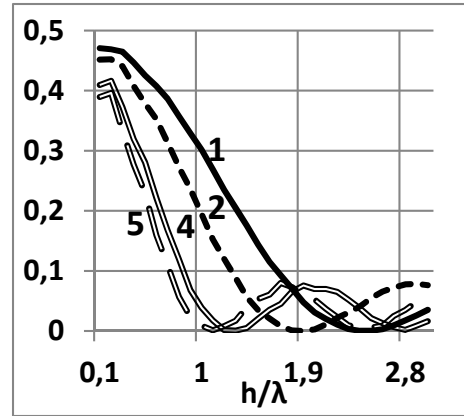
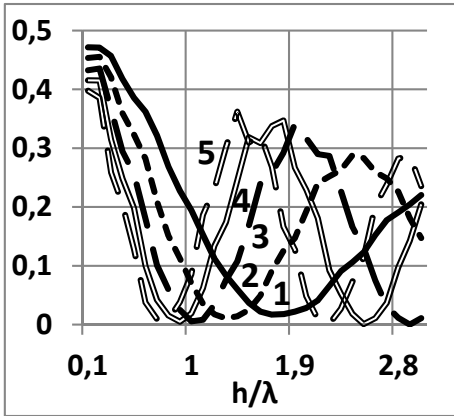
Б) Прямоугольный, период 2,52 мкм, ширина щели (борозды) 1,26 мкм, глубина рельефа от 0,1 до 3 длин волны (от 0,63 мкм до 1,89 мкм), подстилающий слой 0,63 мкм.

2.2. Результаты моделирования для дифракционной интенсивности прошедшей ТЕ волны (вектор E параллелен линиям рельефа)

На рис. 1 показаны результаты моделирования (прямоугольный рельеф) интенсивности прошедшей ТЕ волны I_0, I_1, I_2, I_3 для дифракционных максимумов 0, 1, 2, 3 порядка. При нормальном падении луча света интенсивности в порядках с положительными и отрицательными номерами равны ($I_1=I_{-1}, I_2=I_{-2}, I_3=I_{-3}$). Сумма интенсивностей прошедших и отраженных ТЕ- и ТМ-волн принята за единицу, для каждого максимума показан его удельный вклад.

Прямоугольный профиль, ширина борозды 1,26мкм

Синусоидальный профиль



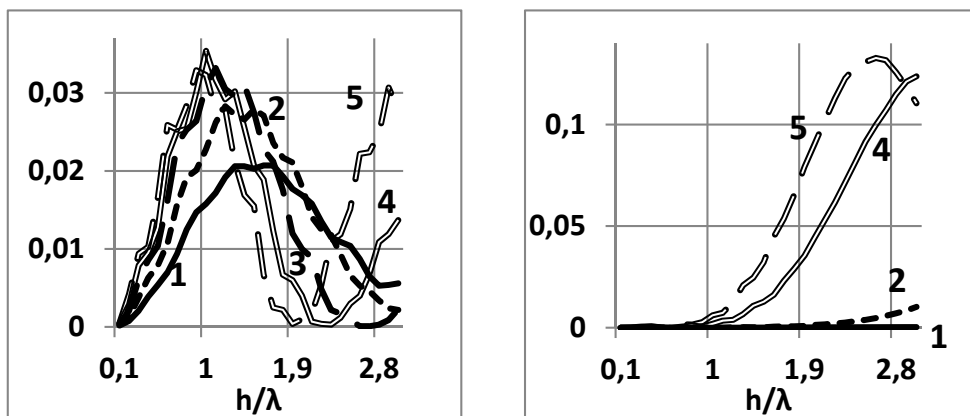
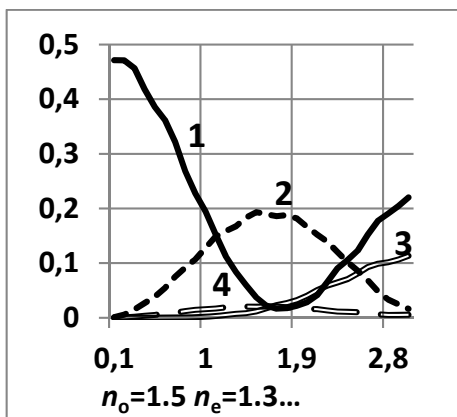


Рис. 1. Интенсивности дифракционных максимумов 0, 1, 2, 3 порядка (сверху вниз) для прошедшей ТЕ-волны для образцов с показателями преломления $n_o=1,5$ и n_e от 1,3 до 1,7, в зависимости от глубины рельефа, выраженной в длинах волны (h/λ). Цифрами обозначены

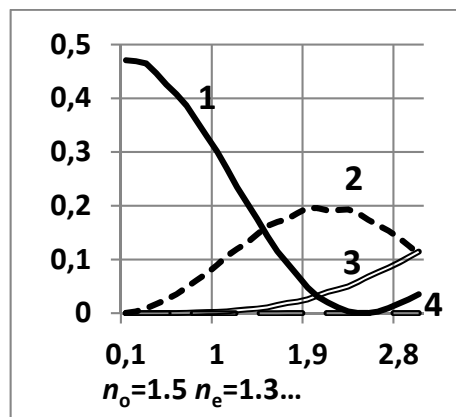
(1) $n_o=1,5$, $n_e=1,3$; (2) $n_o=1,5$, $n_e=1,4$; (3) $n_o=1,5$, $n_e=1,51$; (4) $n_o=1,5$, $n_e=1,6$; (5) $n_o=1,5$, $n_e=1,7$.

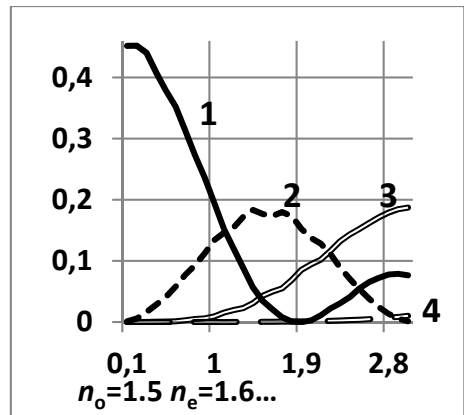
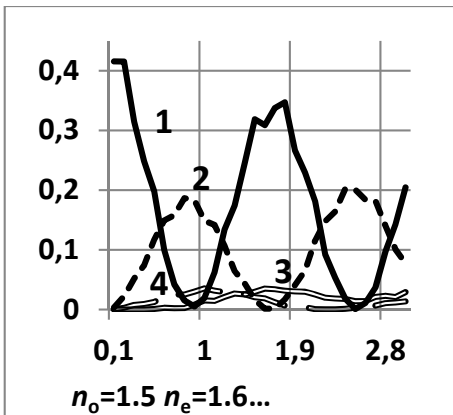
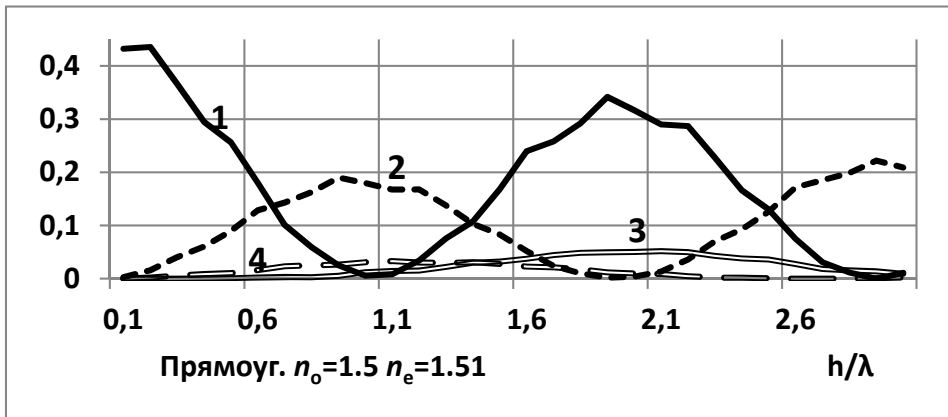
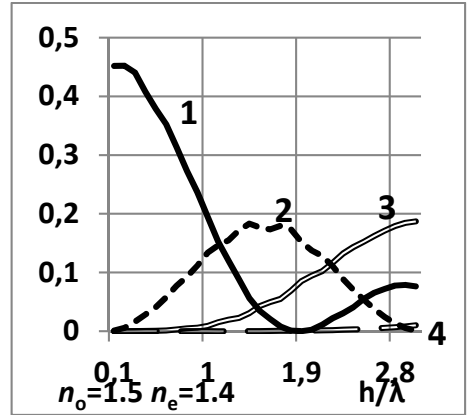
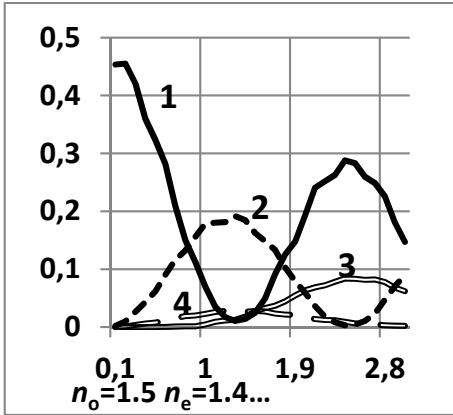
На рис. 2 показаны зависимости интенсивности в порядках дифракции от величины h/λ при $n_o=1,5$ и n_e от 1,3 до 1,7 (сверху вниз) для прошедшей ТЕ волны.

Прямоугольный профиль, ширина борозды
1,26мкм



Синусоидальный профиль





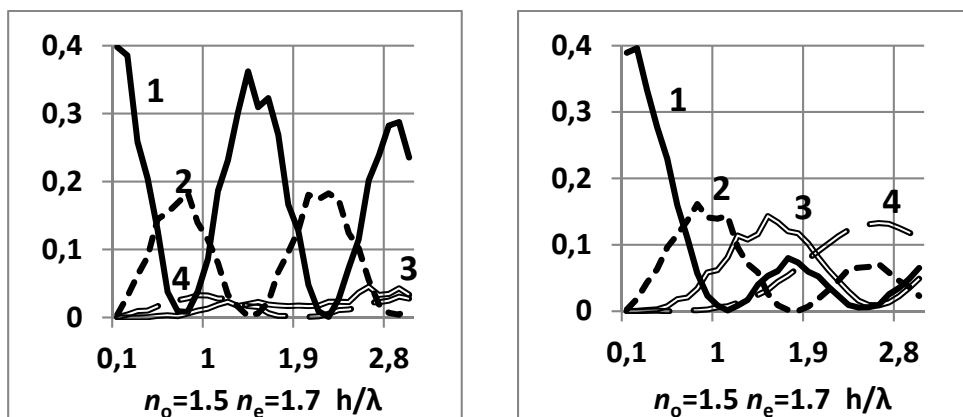


Рис. 2. Зависимость интенсивности в порядках дифракции от h/λ при $n_o=1,5$ и n_e от 1,3 до 1,7 (сверху вниз) для прошедшей ТЕ волны.

Цифрами обозначены

- (1) 0-й максимум; (2) 1-й максимум; (3) 2-й максимум; (4) 3-й максимум

Рассмотрим сначала зависимости $I_n(h/\lambda)$ для разных порядков дифракции. Прежде всего отметим, что относительные интенсивности отраженных ТЕ- и ТМ-волн малы по сравнению с интенсивностями прошедших ТЕ- и ТМ-волн и составляют не более 0,01-0,02 (см. ниже). Это сравнимо с точностью вычислений. Поэтому в дальнейшем в статье почти везде речь идет об интенсивности дифракции прошедших волн. Проанализируем зависимости для ТЕ-волн, так как интенсивности дифракции ТМ-волн не зависят от оптической анизотропии материала.

Сравним зависимости $I_n(h/\lambda)$ для 0-го и 1-го порядков дифракции. Их экстремумы антикоррелируют – максимум зависимости $I_1(h/\lambda)$ приблизительно соответствует минимуму линии $I_0(h/\lambda)$ при $h/\lambda=0.85$. Это почти справедливо для прямоугольного рельефа, однако для синусоидального рельефа при $\Delta n=0,1$ первый минимум линии $I_0(h/\lambda)$ находится при $h/\lambda=1.3$, а первый максимум зависимости $I_1(h/\lambda)$ при $h/\lambda=1.1$. Однако для вторых экстремумов такая разница сглаживается. Первый максимум линии $I_0(h/\lambda)$ находится при $h/\lambda=2.0$, а первый минимум зависимости $I_1(h/\lambda)$ при $h/\lambda=2.1$.

Во всех расчетах при $h/\lambda \sim 0$ интенсивность $I_0 \sim 0.5$, а $I_1 \sim 0$. В случае прямоугольного рельефа интенсивность первого максимума в нулевом порядке составляет от 0,35 при $\Delta n=0.2$ до 0,2 при $\Delta n=-0.2$, т.е. убывает при уменьшении двулучепреломления. Но для синусоидального рельефа соответствующая

интенсивность в первом максимуме намного меньше. Она составляет около 0.07 и практически не зависит от Δn . Что касается интенсивности первого максимума в первом порядке дифракции, то для прямоугольного рельефа она практически не изменяется при уменьшении двулучепреломления, а для синусоидального растет с 0.15 до 0.2 при уменьшении Δn с 0.2 до -0.2.

По мере увеличения показателя преломления n_e от 1,3 до 1,7 при постоянном значении $n_o=1,5$ дифракционные максимумы смещаются в сторону меньшей глубины рельефа (h/λ). Так, при уменьшении двулучепреломления Δn на 0,4 смещение первого минимума интенсивности дифракции нулевого порядка $I_0(h/\lambda)$ составляет в единицах h/λ -1,1 для прямоугольного рельефа или -1,4 h/λ для синусоидального рельефа. Для обоих типов микрорельефа можно ввести величину $\Delta(h/\lambda)/\Delta n \sim -2,75$ (прямоугольный) или $\Delta(h/\lambda)/\Delta n \sim -2,2$ (синусоидальный). Смещение первого минимума интенсивности дифракции первого порядка $I_1(h/\lambda)$ меньше – $\Delta(h/\lambda)/\Delta n \sim -1,25$ (прямоугольный) или $\Delta(h/\lambda)/\Delta n \sim -1,3$ (синусоидальный).

При сравнении дифракции на решетках с прямоугольным и синусоидальным микрорельефом смещение первого минимума интенсивности дифракции нулевого порядка $I_0(h/\lambda)$ при $\Delta n=-0,2$ составляет в единицах h/λ +0,4, если форма рельефа изменяется с прямоугольной и синусоидальную. В среднем смещение приведенной толщины, соответствующей первому экстремуму зависимости $I_n(h/\lambda)$ ($n=0,1,2,3$), при таком же изменении формы рельефа эффективно увеличивается в 1.5 раза для 0-го порядка, 1,25 раза для 1-го порядка, 1.1–1.2 раза для 2-го порядка, 2.7 раза для 3-го порядка.

Для второго и третьего порядков дифракции зависимости $I_n(h/\lambda)$ существенно отличаются от аналогичных линий для 0-го и 1-го порядков. Для $I_2(h/\lambda)$ и случая прямоугольного микрорельефа положение первого максимума по оси h/λ ($h/\lambda \sim 1.6$) приблизительно соответствует положению первого минимума зависимости $I_1(h/\lambda)$ $h/\lambda \sim 1.7$ при $\Delta n=0,1$. Для аналогичной зависимости при синусоидальном рельефе разница в положении экстремумов более выражена: максимум $I_2(h/\lambda)$ при $h/\lambda \sim 1.6$ и минимум $I_1(h/\lambda)$ при $h/\lambda \sim 2.0$.

Интенсивность первого максимума $I_2(h/\lambda)$ в случае прямоугольного микрорельефа растет с 0.02 до 0.12 при изменении Δn от 0,2 до -0.2, а в случае синусоидального рельефа составляет 0.15 и слабо зависит от оптической анизотропии.

Для третьего порядка дифракции интенсивность первого максимума $I_3(h/\lambda)$ мала (около 0.02-0.03) в случае прямоугольного микрорельефа и в несколько раз выше (до 0.13) в случае синусоидального рельефа. Положение максимума $I_3(h/\lambda)$ по оси h/λ в случае прямоугольного микрорельефа промежуточное между соответствующими по номеру максимумами зависимостей $I_1(h/\lambda)$ и $I_2(h/\lambda)$. Но для синусоидального рельефа значение h/λ для первого максимума почти в три раза выше.

4. Влияние глубины рельефа

Как для синусоидального, так и для прямоугольного профиля дифракционной решетки с одинаковым периодом и диапазоном глубин характерны примерно одинаковые закономерности, описанные выше. При малой глубине решетки сходны и сами графики для обеих решеток, как показано выше. Однако при большой глубине решетки уже значительно различается расположение максимумов в единицах h/λ , при которых они расположены на графиках.

Следовательно, при малой глубине решетки основное значение имеет не ее профиль, а период. Надо отметить, что при малой глубине профиля и при тонком подстилающем слое будет малая суммарная толщина материала двулучепреломляющей решетки и малое двулучепреломление, то есть ситуация скорее может рассматриваться как обычная дифракция.

5. Выводы

Получены расчетные данные о влиянии профиля периодического микрорельефа как с положительной, так и с отрицательной оптической анизотропией, на оптические дифракционные свойства. Предложен метод расчета дифракционной картины, позволяющий рассчитать параметры рельефа для задания требуемых оптических свойств пространственно неоднородной анизотропной структуры. Получены расчетные данные о влиянии оптической анизотропии периодического микрорельефа как с положительной, так и с отрицательной оптической анизотропией, на оптические дифракционные свойства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев В.В. Применение подложек с различными микрорельефами поверхности в оптоэлектронике и устройствах отображения информации // Оптический журнал. 2005. Т. 72. № 9. С. 79.
2. Васильев А.А., Касасент Д., Компанец И.П., Парфенов А.В. Пространственные модуляторы света. М.: Радио и связь, 1987. 320 с.
3. Бакеев Н.Ф., Беляев В.В., Волынский А.Л., Иванов С.А., Коновалов В.А., Муравский А.А., Минько А.А., Чистовская Л.В., Яковенко С.Е. Изготовление полимерных подложек с периодическим микрорельефом и исследование их оптических свойств // Оптический журнал. 2001. Т. 68. № 9. С. 8995–9001.
4. Щуньянь Чжуан, Гун Жэньао. Рассеяние волн поверхностями с периодической структурой // Труды института инженеров по электротехнике и электронике. 1981. Т. 69. С. 43–56.
5. Belyaev V., Tsoy V., Tarasishin A. Modeling Optical Properties of Birefringent Substrates with Periodical Surface Microrelief for Application in Display Devices // Conf. proc. of The 22nd int. display research conf. Nice, France. 2002. pp. 413–416.
6. Цой В.И. Граничные матрицы передачи для световых волн в слоистой системе анизотропных диэлектрических решеток // Оптический журнал. 1999. Т. 66. № 6. С. 100–102.
7. Tsoy V., Belyaev V., Tarasishin A., Litovchenko D., Misnik V. Simulation of light propagation through birefringent substrates with periodical surface microrelief // Optics Communications. 2005. Vol. 246. pp. 57–66.
8. Tsoy V., Belyaev V., Tarasishin A., Trofimov S. Modelling the diffraction of light by structures with spatial periodicity of the optical parameters of the substance and of the surface relief // J. Optical Technology. 2003. Vol. 70. pp. 465–470.
9. Merkulov A., Belyaev V., Belyaev A., Gorbunov A. Diffraction on anisotropic substrates with sinusoidal surface microrelief // Molecular Crystals & Liquid Crystals. 2014. Vol. 596. pp. 122–127.
10. Belyaev V., Tsoy V., Kushnir E., Klyckov A., Kalashnikov A. Polarized light diffraction on anisotropic substrates with rectangular and sine microrelief // Journal of the SID. 2005. Vol. 13. pp. 305–308.
11. Belyaev V., Novikovich V., Denisenko P. Diffraction on birefringent elements with sine surface microrelief // Journal of the SID. 2008. Vol. 16. pp. 961–967.
12. Physical properties of stretched polymeric substrates with periodic microrelief for optical diffraction elements and liquid crystals alignment / Belyaev V., Chistovskaya L., Konovalov V., Muravsky A., Tarasishin A., Trofimov S., Tsoy V., Volynsky A., Yakovenk S. // Journal of the SID. 2003. Vol. 11. pp. 3–13.
13. Belyaev V. Using substrates with various surface microreliefs in optoelectronics and information-display devices // J. Optical Technology. 2005. Vol. 72. pp. 719–724.

14. Rokushima K., Yamakita J. Analysis of anisotropic dielectric gratings // *J. Opt. Soc. Am.* 1983. Vol. 73. pp. 901–908.
15. Rokushima K., Yamakita J. Analysis of diffraction in periodic liquid crystals: the optics of the chiral smectic C phase // *J. Opt. Soc. Am. A.* 1987. Vol. 4. pp. 27–33.
16. Mirotznik M., Prather D., Mait J., Beck W., Shi S., Gao X. Three-Dimensional Analysis of Subwavelength Diffractive Optical Elements with the Finite-Difference Time-Domain Method // *Applied Optics-IP.* 2000. Vol. 39. no. 17. pp. 2871–2880.
17. Оганесян Д.Л., Маргарян А.Л., Акопян Н.Г., Арутюнян В.М., Беляев В.В., Соломатин А.С. Управление излучением в среднем инфракрасном диапазоне длин волн с помощью жидкокристаллической фазовой решётки // *Известия НАН Армении, Физика.* 2015. Т. 50. № 1. С. 74–84.
18. Belyaev V., Merkulov A., Belyaev A., Solomatin A., Gorbunov A. Diffraction on Anisotropic Substrates with Surface Microrelief // *Proc. EuroDisplay'11.* Arcachon, France. 2011. pp. 121–124.
19. Соломатин А.С. Физические свойства конденсированных систем с неоднородной структурой в микро- и нанометровом диапазоне. Международная конференция «Физические свойства материалов и дисперсных сред для элементов информационных систем, нанoeлектронных приборов и экологичных технологий». МГОУ, Москва, 21–24 апреля 2015 г. С. 17.
20. Беляев В.В., Соломатин А.С., Маргарян А.Л., Абрамян В.К., Оганесян Д.Л., Акопян Н.Г., Арутюнян М.В. Дифракция света на решётках с периодическим микрорельефом при отрицательном знаке оптической анизотропии материала // Международная конференция «Физические свойства материалов и дисперсных сред для элементов информационных систем, нанoeлектронных приборов и экологичных технологий», МГОУ, Москва, 21–24 апреля 2015. С. 100.

REFERENCES

1. Belyaev V.V. Primenenie podlozhek s razlichnymi mikrorel'efami poverkhnosti v optoelektronike i ustroystvakh otobrazheniya informatsii [The use of substrates with different surface microreliefs in optoelectronics and display devices] // *Opticheskiy zhurnal.* 2005. Vol. 72. no. 9. p. 79.
2. Vasil'ev A.A., Kasasent D., Kompanets I.P., Parfenov A.V. Prostranstvennyye modulyatory sveta [Spatial light modulators]. М., Radio i svyaz', 1987. 320 p.
3. Bakeev N.F., Belyaev V.V., Volynskii A.L., Ivanov S.A., Konovalov V.A., Muravskii A.A., Min'ko A.A., Chistovskaya L.V., Yakovenko S.E. Izgotovlenie polimernykh podlozhek s periodicheskim mikrorel'efom i issledovanie ikh opticheskikh svoystv [Fabrication of polymeric substrates with periodic microrelief and study of their optical properties] // *Opticheskiy zhurnal.* 2001. Vol. 68. no. 9. pp. 8995–9001.

4. Shchunlyan Chzh., Gun Zh. Rasseyanie voln poverkhnostyami s periodicheskoi strukturoi [Wave scattering surfaces with a periodic structure] Trudy instituta inzhenerov po elektrotekhnike i elektronike [Proceedings of Institute of electrical and electronics engineers]. 1981. Vol. 69. pp. 43–56.
5. Belyaev V., Tsoy V., Tarasishin A. Modeling Optical Properties of Birefringent Substrates with Periodical Surface Microrelief for Application in Display Devices // Conf. proc. of The 22nd int. display research conf. Nice, France. 2002. pp. 413–416.
6. Tsoy V.I. Granichnye matritsy peredachi dlya svetovykh voln v sloistoi sisteme anizotropnykh dielektricheskikh reshetok [The boundary of the transfer matrix for light waves in a layered system of anisotropic dielectric gratings] // Opticheskii zhurnal. 1999. Vol. 66. no. 6. pp. 100–102.
7. Tsoy V., Belyaev V., Tarasishin A., Litovchenko D., Misnik V. Simulation of light propagation through birefringent substrates with periodical surface microrelief // Optics Communications. 2005. Vol. 246. pp. 57–66.
8. Tsoy V., Belyaev V., Tarasishin A., Trofimov S. Modelling the diffraction of light by structures with spatial periodicity of the optical parameters of the substance and of the surface relief // J. Optical Technology. 2003. Vol. 70. pp. 465–470.
9. Merkulov A., Belyaev V., Belyaev A., Gorbunov A. Diffraction on anisotropic substrates with sinusoidal surface microrelief // Molecular Crystals & Liquid Crystals. 2014. Vol. 596. pp. 122–127.
10. Belyaev V., Tsoy V., Kushnir E., Klyckov A., Kalashnikov A. Polarized light diffraction on anisotropic substrates with rectangular and sine microrelief // Journal of the SID. 2005. Vol. 13. pp. 305–308.
11. Belyaev V., Novikovich V., Denisenko P. Diffraction on birefringent elements with sine surface microrelief // Journal of the SID. 2008. Vol. 16. pp. 961–967.
12. Physical properties of stretched polymeric substrates with periodic microrelief for optical diffraction elements and liquid crystals alignment / Belyaev V., Chistovskaya L., Konovalov V., Muravsky A., Tarasishin A., Trofimov S., Tsoy V., Volynsky A., Yakovenk S. // Journal of the SID. 2003. Vol. 11. pp. 3–13.
13. Belyaev V. Using substrates with various surface microreliefs in optoelectronics and information-display devices // J. Optical Technology. 2005. Vol. 72. pp. 719–724.
14. Rokushima K., Yamakita J. Analysis of anisotropic dielectric gratings // J. Opt. Soc. Am. 1983. Vol. 73. pp. 901–908.
15. Rokushima K., Yamakita J. Analysis of diffraction in periodic liquid crystals: the optics of the chiral smectic C phase // J. Opt. Soc. Am. A. 1987. Vol. 4. pp. 27–33.

16. Mirotznik M., Prather D., Mait J., Beck W., Shi S., Gao X. Three-Dimensional Analysis of Subwavelength Diffractive Optical Elements with the Finite-Difference Time-Domain Method // *Applied Optics-IP*. 2000. Vol. 39. no. 17. pp. 2871–2880.
17. Oganesyanyan D.L., Margaryan A.L., Akopyan N.G., Arutyunyan V.M., Belyaev V.V., Solomatin A.S. Upravlenie izlucheniem v srednem infrakrasnom diapazone dlin voln s pomoshch'yu zhidkokristallicheskoj fazovoi reshetki [Management of radiation in the middle infrared range of wavelengths using liquid crystal phase gratings] // *Izvestiya NAN Armenii, Fizika*. 2015. Vol. 50. no. 1. pp. 74–84.
18. Belyaev V., Merkulov A., Belyaev A., Solomatin A., Gorbunov A. Diffraction on Anisotropic Substrates with Surface Microrelief // *Proc. EuroDisplay'11*. Arcachon, France. 2011. pp. 121–124.
19. Solomatin A.S. Fizicheskie svoistva kondensirovannykh sistem s neodnorodnoi strukturoi v mikro- i nanometrovom diapazone [The physical properties of condensed matter systems with a non-uniform structure in the micro- and nanometer range] // *Mezhdunarodnaya konferentsiya «Fizicheskie svoistva materialov i dispersnykh sred dlya elementov informatsionnykh sistem, nanoelektronnykh priborov i ekologichnykh tekhnologii»* [International conference "Physical properties of disperse materials and environments to elements of information systems, nanoelectronic devices and environmentally friendly technologies"]. M., MGOU, 21–24 April 2015, p. 17.
20. Belyaev V.V., Solomatin A.S., Margaryan A.L., Abramyan V.K., Oganesyanyan D.L., Akopyan N.G., Arutyunyan M.V. Difraktsiya sveta na reshetkakh s periodicheskim mikrorel'efom pri otritsatel'nom znake opticheskoi anizotropii materiala [The light diffraction on lattices with periodic microrelief with a negative sign of the optical anisotropy of the material] // *Mezhdunarodnaya konferentsiya «Fizicheskie svoistva materialov i dispersnykh sred dlya elementov informatsionnykh sistem, nanoelektronnykh priborov i ekologichnykh tekhnologii»*, MGOU, Moskva, 21–24 aprelya [International conference "Physical properties of disperse materials and environments to elements of information systems, nanoelectronic devices and environmentally friendly technologies", MGOU, Moscow, 21–24 April]. M. P. 100.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Соломатин Алексей Сергеевич – кандидат физико-математических наук, инженер учебно-научной лаборатории теоретической и прикладной нанотехнологии, Московский государственный областной университет;
e-mail: Sotrudnica_UNC@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Solomatin Aleksei Sergeevich – candidate of physical and mathematical sciences, engineer of the Education & Science Lab for Theoretical and Applied Nanotechnology at the Moscow State Regional University;

e-mail: Sotrudnica_UNC@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Соломатин А.С. Влияние профиля микрорельефа периодических анизотропных структур на их дифракционные свойства // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. 2016. № 1. С. 74–87.

DOI: 10.18384/2310-7251-2016-1-74-87.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCE

A. *Solomatin* Effect of the microrelief surface of periodic anisotropic structures on their diffraction properties // Bulletin of Moscow State Regional University. Series: Physics and Mathematics. 2016. no. 1. pp. 74–87.

DOI: 10.18384/2310-7251-2016-1-74-87.