

Концепция фотонного пространственного переключателя на основе внеосевой зонной пластины: экспериментальное подтверждение в миллиметровом диапазоне

А.Г. Паулиш^{1,2,3}, О.В. Минин⁴, И.В. Минин^{1,4}

¹ Филиал Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН "КТИПМ", 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 2/1;

² Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, проспект Карла Маркса, д. 20;

³ Новосибирский государственный университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2;

⁴ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, Ленина, д. 30

Аннотация

В статье приводятся результаты экспериментальной проверки концепции ранее предложенного [Гейнц, Ю.Э. Концепция миниатюрного фотонного пространственного переключателя на основе внеосевой зонной пластины / Ю.Э. Гейнц, О.В. Минин, И.В. Минин // Квантовая электроника. – 2021. – Т. 51, № 8. – С. 727-729. – DOI: <https://doi.org/10.1070/QEL17600>] полностью оптического селективного по длине волны многоканального коммутатора на основе внеосевой зонной пластины Вуда в миллиметровом диапазоне длин волн без применения микро-механических устройств или нелинейных материалов. Рассмотрен лабораторный прототип такого устройства, и обсуждаются его основные параметры. На основе проведенных экспериментов показано, что оптическая изоляция коммутируемых каналов для переключателя на базе внеосевой зонной пластины может достигать 15 дБ при разности частот 25 ГГц в диапазоне частот 93 – 136 ГГц.

Ключевые слова: оптический коммутатор, фотонный крючок, внеосевая зонная пластина Вуда.

Цитирование: Паулиш, А.Г. Концепция фотонного пространственного переключателя на основе внеосевой зонной пластины: экспериментальное подтверждение в миллиметровом диапазоне / А.Г. Паулиш, О.В. Минин, И.В. Минин // Компьютерная оптика. – 2023. – Т. 47, № 2. – С. 230-234. – DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1210.

Citation: Paulish AG, Minin OV, Minin IV. Concept of a photon spatial switch based on an off-axis zone plate: experimental confirmation in the millimeter waves range. Computer Optics 2023; 47(2): 230-234. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1210.

Введение

Оптические переключатели используются в современных сетевых оптических коммуникациях [1], в частности, для разделения оптических сигналов с разной частотой, распространяющихся по единому оптическому каналу. В [2, 3] нами была предложена новая концепция селективного по длине волны полностью оптического переключателя на основе новых структурированных пространственно локализованных световых пучков типа «фотонный крючок» [4, 5], относящаяся к классу селективных по длине волны переключателей [6, 7]. Особенностью этой концепции является возможность реализации немеханического и полностью оптического пространственного переключателя, который изменяет направление выходного света без использования нелинейных материалов с использованием дифракционных структур различной конфигурации [2, 3].

В настоящем сообщении мы приводим результаты экспериментальной проверки концепции указанного

выше переключателя оптического типа в миллиметровом (ММ) диапазоне длин волн. Выбор диапазона обусловлен одновременно двумя аспектами – возможностью оперативной экспериментальной проверки концепции переключателя в более длинноволновом диапазоне (что технологически проще) и самостоятельным интересом к этому диапазону применительно к перспективным системам связи и коммуникации 5G-6G [8 – 15].

Мультиплексирование с разделением по длине волны (WDM) и оптическое переключение каналов передачи информации позволяет увеличить пропускную способность в системах связи, которое, как правило, основано на микшировании нескольких сигналов в один канал и последующем их разделении (переключении) на стороне детектора. Для этих целей мы применили специальный дифракционный элемент [16, 17]. В рассматриваемом случае для реализации функции оптического переключателя зависимость угла отклонения сфокусированного излучения от длины волны облучения обеспечивается дифракционным

элементом в виде внеосевой зонной пластины. Такой элемент представляет собой комбинацию бинарной фазовой решетки и собирающей дифракционной линзы [18–22], обеспечивающий частотное разделение и фокусировку излучения на конечном расстоянии, т.е. пространственно разделяет сигналы, поступающие из единого канала передачи данных, по несущей частоте. Поэтому при определенной пространственной конфигурации такой структуры и зон приема можно добиться изменения уровня оптического сигнала в каждом из каналов при изменении длины волны излучения. В данном случае пространственный наклон области ближнепольной фокусировки обеспечивался использованием внеосевой зонной пластины Вуда, область фокусировки которой находится вне оптической оси системы [21, 22].

1. Схема эксперимента

Схема экспериментальной установки, её основных составных частей и принцип работы показаны на рис. 1–2. ММ-излучение, генерируемое источником (1), проходит волновод (2), и с помощью антенны Кассегрена (3) формируется квазиплоская волна (5) диаметром ≈ 100 мм, падающая на фазовую пластину (ФП) (6). Расстояние от антенны Кассегрена до фазовой пластины d много больше рабочей апертуры антенны $D=100$ мм, т.е. реализуются условия дальнего поля. После ФП излучение (7) фокусируется в плоскости ZX, расположенной вне оптической оси падающего излучения (5). В зависимости от частоты излучения положение фокусировки пучка сдвигается вдоль оси Z в плоскости ZX. Для измерения пространственного распределения интенсивности излучения в плоскости ZX фотоприёмник (8, 9, 10) размещался в центре 2-координатного стола с электро-механическими приводами, управляемыми от компьютера. Сканирование области фокусировки излучения фотоприёмником осуществлялось по области размером 100×100 мм с шагом 0,5 мм.

В качестве источника излучения (рис. 2а) использовались излучающие модули ММ-диапазона (производства АО «НИИПП», г. Томск) монолитной конструкции на основе диодов Ганна с рабочими частотами 93, 118 и 136 ГГц (диапазон перестройки $\pm 0,75$ ГГц) и выходной мощностью 3, 1 и 0,2 мВт соответственно. ММ-модули снабжены волноводом, оканчивающимся антенной Кассегрена с рабочей апертурой $D=100$ мм. Антенна обеспечивала квазиплоский волновой фронт с расходимостью пучка излучения менее 1° .

В качестве оптического элемента переключателя была использована асимметричная фотонная структура в виде внеосевой бинарной фазовой пластины (ФП) Вуда [8, 9], представленная на рис. 2в. ФП диаметром 120 мм изготавливалась методом 3D-печати [10] на принтере Cheap 3d V300 с областью печати $300 \times 300 \times 300$ мм, точностью 50 мкм. Применяемый

материал – ABS-пластик REC прутков диаметром 1,75 мм. Коэффициент преломления материала, по литературным данным, составлял $n \approx 1,59$ [11] и мог корректироваться выбором плотности 3D-печати [12]. Следует заметить, что при таких геометрических параметрах мезоразмерной ФП параметр размера Ми-структуры составлял величину $q = \pi D / \lambda = 31\pi$ (D – диаметр ФП), что соответствует условию существования эффекта фотонной струи [13] на границе с пределом геометрической оптики.

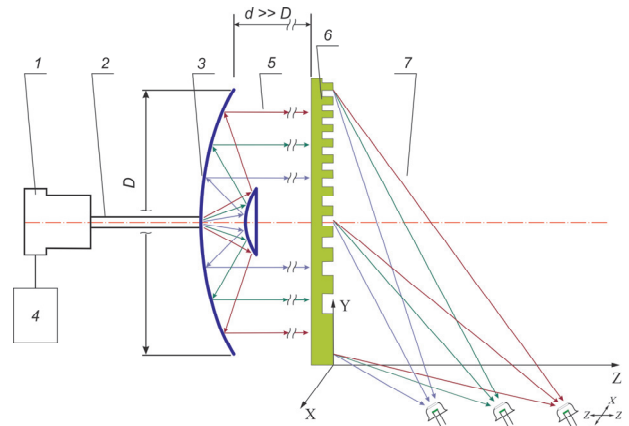


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. 1 – ММ-излучатель, 2 – волновод, 3 – антенна Кассегрена, 4 – плата управления, 5 – падающий квазипараллельный пучок ММ-излучения, 6 – внеосевая фазовая пластина Вуда, 7 – пучок после фазовой пластины, 8, 9, 10 – положения фотодетектора при различных длинах волн излучения

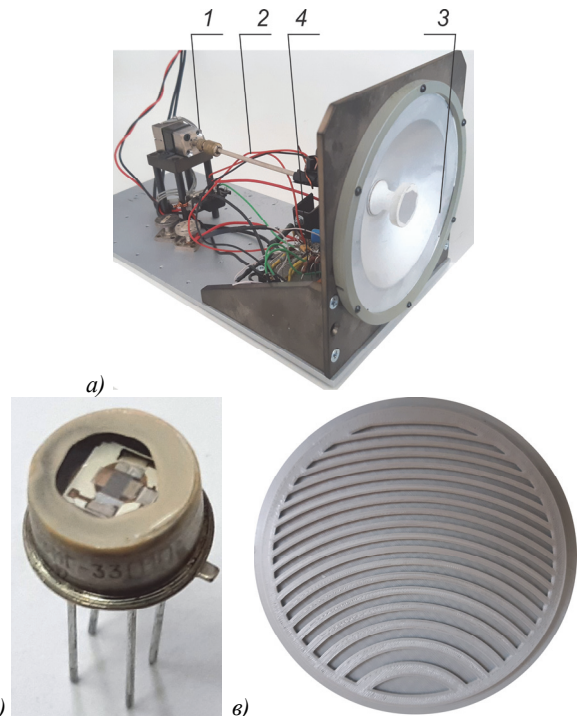


Рис. 2. а) Внешний вид источника излучения, состоящего из ММ-излучателя (1), волновода (2), антенны Кассегрена (3) и платы управления (4); б) пироэлектрический фотоприёмник ММ-диапазона; в) внешний вид фазовой пластины Вуда

В качестве детектора ММ-излучения использовался пироэлектрический фотоприёмник на основе тетраминодифенила с расширенным диапазоном спектральной чувствительности (0,4–3000 мкм) производства НПО «ВОСТОК», г. Новосибирск, внешний вид которого показан на рис. 2б. Фотоприёмник имеет входное окно из полиэтилентерефталата (лавсан) диаметром 5 мм и фоточувствительную площадку размером 1×1 мм². Характеристики использованного пироэлектрического фотоприёмника подробно исследованы в работах [14, 15]. Для получения максимального сигнала с пироэлектрического фотоприёмника осуществлялось модулирование излучения с частотой около 100 Гц при помощи механического обтюратора.

2. Результаты и обсуждение

Результаты экспериментов представлены на рис. 3–4. На рис. 3 показано двумерное распределение интенсивности плоской волны при дифракции на ФП излучения с частотами 93 (1), 118 (2) и 136 (3) ГГц. Рисунок является синтезом пространственных распределений интенсивности ММ-излучения, полученных для каждой частоты в отдельности.

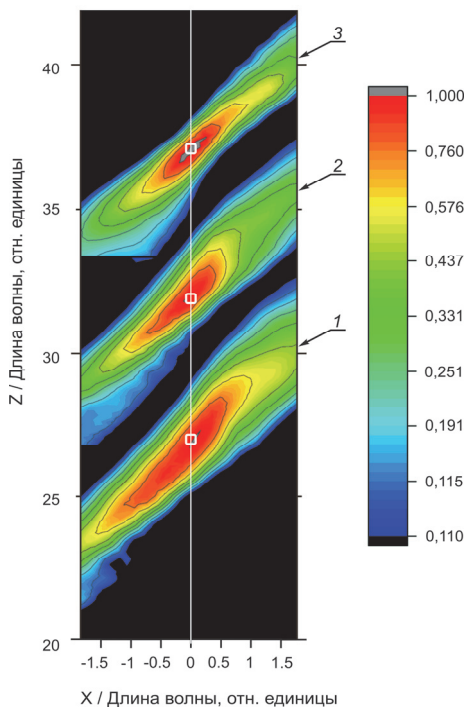


Рис. 3. Распределение интенсивности сигнала в плоскости ZX для частот 93 (1), 118 (2) и 136 (3) ГГц соответственно. Координаты по X и Z нормированы на длину волны излучения. Квадратами показан размер фоточувствительной площадки пироэлектрического фотоприёмника в масштабе рисунка

Из рисунка видно, что при распространении сфокусированного ФП излучения, вследствие дифракции, пространственный размер области фокусировки, как и ожидалось, меняется, что следует из рис. 3–4 и табл. 1. Наклон распределения интенсивности пиков

отражает наклон диаграммы излучения источника излучения, который является щелевым.

Также при изменении длины волны излучения область локализации излучения (внеосевого фокуса [8, 9]) изменяет свое пространственное положение. Размещение оптических приемников вдоль оси Z при X=0 обеспечивает различную амплитуду поля в каждом из каналов при работе на различной частоте, т.е. их пространственную коммутацию по уровню оптического сигнала. Очевидно, что надежность срабатывания такого переключателя будет определяться величиной оптической развязки каналов, которая, в свою очередь, зависит от параметров переключающей ФП и диапазона длин волн облучения. Разность сигналов на соседних приемниках излучения $dS = S_1 - S_2$ служит мерой оптической изоляции (развязки) каналов коммутации. Отметим, что для улучшения оптической развязки переключаемых каналов мы выбрали фотоприёмник с входной апертурой заметно меньше размера поперечного сечения области локализации излучения (см. рис. 4).

На рис. 4 показано распределение интенсивности преломленного излучения вдоль оси Z при координате X=0 для разных частот излучения. Интенсивность излучения нормирована на максимум, полученный для каждой частоты в отдельности. Значение координаты по Z нормировано на длину волны излучения. На вставке квадратом показан размер фоточувствительной площадки пироэлектрического фотоприёмника в соответствующих координатах.

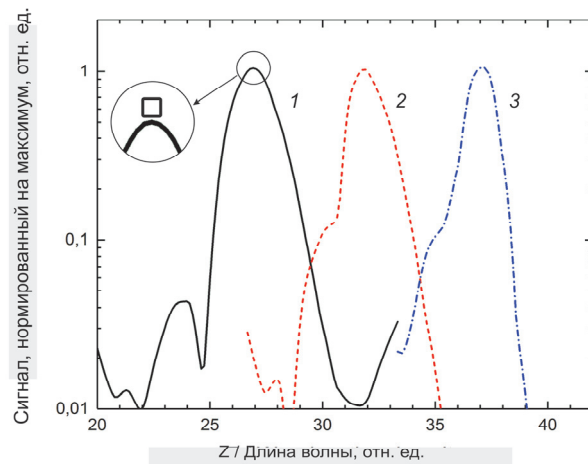


Рис. 4. Зависимости интенсивности сигналов вдоль оптической оси Z, показанной на рис. 3 светлой сплошной линией, для частот 93, 118 и 136 ГГц. Интенсивности нормированы на максимум, полученный для каждой частоты отдельно. Координата по Z нормирована на длину волны излучения. На выноске в масштабе показан размер фоточувствительной площадки пироэлектрического фотоприёмника для сравнения

В табл. 1 приведены результаты обработки полученных зависимостей. Из рис. 4 видно, что сигнал с соседней частотой 118 ГГц на координате максимума сигнала, соответствующего частоте 93 ГГц, более чем

в 15 раз меньше, чем сигнал с частотой 93 ГГц. То есть измеренное взаимное влияние сигналов на соседних частотах составило менее 15 дБ.

Как видно, оптическая изоляция dS может достигать > 15 дБ, что при условии фактически мгновенной скорости срабатывания переключателя (например, для фото-

приемников на основе диодов Шоттки ZBD-F производства Virginia Diodes время «реакции» составляет $\sim 3 \times 10^{-11}$ с [16]) является хорошим показателем. При этом спектральный диапазон, в котором реализуется переключение состояний, в данном случае составляет около 43 ГГц или примерно 38 % от средней длины волны.

Табл. 1. Ширина распределения интенсивности поля вдоль оси Z на полувысоте

Частота, ГГц	Длина волны λ , мм	Положение максимума Z/λ , отн. ед.	Ширина на полувысоте $\Delta Z/\lambda$, отн. ед.	Относительная ширина на полувысоте $\Delta Z/Z$, %
93	3,23	26,9	2,29	8,5
118	2,54	31,8	1,86	5,8
136	2,21	37,1	1,56	4,2

Заключение

Таким образом, в данной работе экспериментально продемонстрирована принципиальная возможность создания многоканального (в данном случае трехканального) коммутатора оптического типа на основе диэлектрической мезоразмерной структуры с нарушенной симметрией геометрической формы, выполненной в виде внеосевой ФП Вуда. Благодаря уникальному свойству такой структуры изменять пространственное положение ограниченной области фокусировки в зависимости от длины волны облучения, данный переключатель является хорошим кандидатом для реализации электронной оптической коммутации в современной оптоэлектронике, не требующим управления электрическим сигналом. Заметим, что проведение «полномасштабной» оптимизации характеристик оптического переключателя в данной работе не предполагалось, а экспериментально демонстрировалась лишь соответствующая концепция. Более того, учитывая масштабируемость уравнений Максвелла, результаты данной работы могут быть перенесены в другие диапазоны электромагнитного излучения, в частности, оптический или ИК.

Благодарности

Работа выполнена в рамках программы развития ТПУ, частично поддержана грантом РФФИ (No. 21-57-10001).

References

- [1] El-Bawab TS. Optical Switching. Boston, MA: Springer; 2006.
- [2] Geints YuE, Minin OV, Minin IV. Concept of a miniature photonic spatial switch based on off-axis zone plate. Quantum Electron 2021; 51(8): 727-729. DOI: 10.1070/QEL17600.
- [3] Geints YuE, Minin OV, Minin IV. The concept of a miniature all-optical space switch based on the photonic hook effect. Computer Optics 2021; 45(6): 848-852. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-926.
- [4] Dholakia K, Bruce GD. Optical hooks. Nat Photon 2019; 13: 229-230. DOI: 10.1038/s41566-019-0403-9.
- [5] Christodoulides DN. Foreword. In Book: Minin OV, Minin IV. The photonic hook. Cham: Springer; 2021: vii-viii. DOI: 10.1007/978-3-030-66945-4.

- [6] Seok TJ, Luo J, Huang Z, Kwon K, Henriksson J, Jacobs J, Ochikubo L, Muller RS, Wu MC. Silicon photonic wavelength cross-connect with integrated MEMS switching. APL Photon 2019; 4: 100803. DOI: 10.1063/1.5120063.
- [7] Zhang C, Zhang M, Xie Y, Shi Y, Kumar R, Panepucci R, Dai D. Wavelength-selective 2×2 optical switch based on a Ge₂Sb₂Te₅-assisted microring. Photonics Res 2020; 8(7): 1171-1176. DOI: 10.1364/PRJ.393513.
- [8] Emara MK, Gupta S. Integrated multiport leaky-wave antenna multiplexer/demultiplexer system for millimeter-wave communication. IEEE Trans Antennas Propag 2021; 69(9): 5244-5256. DOI: 10.1109/TAP.2021.3060138.
- [9] Tomura T, Hirokawa J, Ali M, Carpintero G. Millimeter-wave multiplexed wideband wireless link using rectangular-coordinate orthogonal multiplexing (ROM) antennas. J Lightw Technol 2021; 39(24): 7821-7830. DOI: 10.1109/JLT.2021.3093445.
- [10] Hui X, Zheng S, Chen Y, et al. Multiplexed millimeter wave communication with dual orbital angular momentum (OAM) mode antennas. Sci Rep 2015; 5: 10148. DOI: 10.1038/srep10148.
- [11] Dailleux E, Frigon J-F, Hannachi C, Tatu SO. Millimeter wave spatial multiplexing: Feasibility and performance of a short range 2×2 link. 2015 European Microwave Conf (EuMC) 2015: 199-202. DOI: 10.1109/EuMC.2015.7345734.
- [12] Minin IV, Minin OV. System of microwave radiovision of three-dimensional objects in real time. Proc SPIE 2000; 4129: 616-619. DOI: 10.1117/12.390666.
- [13] Browning C, Ouyang X, Dass D, Talli G, Townsend P. Orthogonal chirp-division multiplexing for performance enhanced optical/millimeter-wave 5G/6G communications. 2021 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC) 2021: W1J.3. Source: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9489885>.
- [14] Ding Y, Fusco V, Shitvov A. (2017). Beamspace multiplexing for wireless millimeter-wave backhaul link. 2017 11th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP) 2017: 912-916. DOI: 10.23919/EuCAP.2017.7928340.
- [15] Amphawan A, Chaudhary S. Free-space optical mode division multiplexing for switching between millimeter-wave picocells. Proc SPIE 2015; 9524: 95242H. DOI: 10.1117/12.2189694.
- [16] Wang H, Piestun R. Azimuthal multiplexing 3D diffractive optics. Sci Rep 2020; 10: 6438.
- [17] Ruffato G, Massari M, Romanato F. Diffractive optics for combined spatial- and mode- division demultiplexing of optical vortices: design, fabrication and optical characterization. Sci Rep 2016; 6: 24760.

- [18] Doskolovich LL, Bezus EA, Kazanskiy NL. Multifocal spectral diffractive lens. *Computer Optics* 2018; 42(2): 219-226. DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-2-219-226.
- [19] Khonina SN, Volotovskiy SG, Ustinov AV, Kharitonov SI. Analysis of focusing light by a harmonic diffractive lens with regard for the refractive index dispersion. *Computer Optics* 2017; 41(3): 338-347. DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-3-338-347.
- [20] Blank V, Skidanov R, Doskolovich L, Kazanskiy N. Spectral diffractive lenses for measuring a modified red edge simple ratio index and a water band index. *Sensors* 2021; 21: 7694. DOI: 10.3390/s21227694.
- [21] Guo YJ, Barton SK. Offset Fresnel zone plate antennas. *Int J Satell Commun* 1994; 12(4): 381-385. DOI: 10.1002/sat.4600120405.
- [22] Minin IV, Minin OV, Golodnikov DO. Simple Free-Space Method for Measurement of Dielectric Constant by Means of Diffractive Optics with New Capabilities. *Proc 8th Int Conf on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering* 2006: 13-18. DOI: 10.1109/APEIE.2006.4292375.
- [23] Monkevich JM, Le Sage GP. Design and fabrication of a custom-dielectric fresnel multi-zone plate lens antenna using additive manufacturing techniques. *IEEE Access* 2019; 7: 61452-61460. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2916077.
- [24] Furlan WD, Ferrando V, Monsoriu JA, Zagrajek P, Czerwińska E, Szustakowski M. 3D printed diffractive terahertz lenses. *Opt Lett* 2016; 41(8): 1748-1751. DOI: 10.1364/OL.41.001748.
- [25] Pourahmadazar J, Sahebghalam S, Abazari Aghdam S, Nouri M. A millimeter-wave Fresnel zone plate lens design using perforated 3D printing material. *2018 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications (IMWS-AMP)* 2018: 1-3. DOI: 10.1109/IMWS-AMP.2018.8457170.
- [26] Pourahmadazar J, Denidni T. Towards millimeter-wavelength: Transmission-mode Fresnel zone plate lens antennas using plastic material porosity control in homogeneous medium. *Sci Rep* 2018; 8: 5300. DOI: 10.1038/s41598-018-23179-8.
- [27] Zhang S. Design and fabrication of 3D-printed planar Fresnel zone plate lens. *Electron Lett* 2016; 52(10): 833-835. DOI: 10.1049/el.2016.0736.
- [28] Poyanco JM, Pizarro F, Rajo-Iglesias E. Cost-effective wideband dielectric planar lens antenna for millimeter wave applications. *Sci Rep* 2022; 12: 4204. DOI: 10.1038/s41598-022-07911-z.
- [29] Havriliak S, Negami S. A complex plane representation of dielectric and mechanical relaxation process in some polymers. *Polymers* 1967; 8: 161-210. DOI: 10.1016/0032-3861(67)90021-3.
- [30] Minin IV, Minin OV, Geints YE. Localized EM and photon jets from non-spherical and non-symmetric dielectric mesoscale objects: Brief review. *Annalen der Physik (Berlin)* 2015; 527(7-8): 491-497. DOI: 10.1002/andp.201500132.
- [31] Paulish AG, Gusachenko AV, Morozov AO, Dorozhkin KV, Suslyaev VI, Golyashov VA, Minin OV, Minin IV. Characterization of tetraaminodiphenyl-based pyroelectric detector from visible to millimeter wave ranges. *Opt Eng* 2020; 59(6): 061612. DOI: 10.1117/1.OE.59.6.061612.
- [32] Paulish AG, Gusachenko AV, Morozov AO, Golyashov VA, Dorozhkin KV, Suslyaev VI. Sensitivity of the tetraaminodiphenyl based pyroelectric sensor from visible to sub-THz range. *Sensor Rev* 2020; 40(3): 291-296. DOI: 10.1108/SR-03-2020-0047.
- [33] Fast Detectors (ZBD-F). Source: <<https://vadiodes.com/en/zbd>>.
- [34] Khope A, Samanta A, Xiao X, Yoo B, Bowers J. Review of integrated photonic elastic WDM switches for data centers. *arXiv Preprint*. 2021. Source: <<https://arxiv.org/abs/2105.14934>>.
- [35] Vinogradov AP, Aivazyan AV. Scaling theory for homogenization of the Maxwell equations. *Phys Rev E* 1999; 60: 987.

Сведения об авторах

Паулиш Андрей Георгиевич, 1963 года рождения, в 1985 году окончил Новосибирский государственный университет по специальности «Физик», работает учёным секретарём Филиала Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН «КТИПМ», доктор технических наук, доцент. Автор и соавтор более 150 научных трудов (в том числе 2 монографий, изданных за рубежом), более 20 изобретений и патентов РФ и международных патентов. Область научных интересов: физика полупроводников, спектроскопия, опτικο-электронные системы и приборы. E-mail: paulish63@ngs.ru. ORCID ID: 0000-0001-8299-2784.

Минин Олег Владиленович, 1960 года рождения, в 1982 году окончил Новосибирский государственный университет по специальности «Физик», работает главным научным сотрудником в Сибирском государственном университете геосистем и технологий, доктор технических наук, чл.-корр. Метрологической академии России. Автор и соавтор более 300 научных трудов (в том числе 10 монографий, включая изданные за рубежом), более 100 изобретений и патентов РФ. Область научных интересов: компьютерная оптика, нано- и мезоразмерная фотоника, оптика ближнего поля. E-mail: oleg.minin@ngs.ru. ORCID ID: 0000-0002-9749-2106.

Минин Игорь Владиленович, 1960 года рождения, в 1982 году окончил Новосибирский государственный университет по специальности «Физик», работает главным научным сотрудником в Сибирском государственном университете геосистем и технологий, доктор технических наук, чл.-корр. Метрологической академии России. Автор и соавтор более 300 научных трудов (в том числе 10 монографий, включая изданные за рубежом), более 100 изобретений и патентов РФ. Область научных интересов: компьютерная оптика, нано- и мезоразмерная фотоника, оптика ближнего поля. E-mail: prof.minin@gmail.com. ORCID ID: 0000-0002-6108-8419.

ГРНТИ: 29.31.26

Поступила в редакцию 16 августа 2022 г. Окончательный вариант – 27 октября 2022 г.

Concept of a photon spatial switch based on an off-axis zone plate: experimental confirmation in the millimeter waves range

A.G. Paulish^{1,2,3}, O.V. Minin⁴, I.V. Minin^{1,4}

¹ Novosibirsk Branch of Rzhanov Institute of Semiconductor Physics "TDIAM", Novosibirsk, Russia;

² Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia;

³ Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia;

⁴ State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia

Abstract

We present results of the experimental verification of a concept of the previously proposed all-optical wavelength-selective multichannel switch based on an off-axis Wood zone plate in the millimeter waveband without the use of micromechanical devices or non-linear materials. A laboratory prototype of such a device is considered and its main parameters are discussed. It is shown that the optical isolation of switched channels for the switch based on an off-axis zone plate can reach 15 dB at a frequency difference of 25 GHz in the frequency range of 93 – 136 GHz.

Keywords: optical switch, photon hook, Wood zone plate.

Citation: Paulish AG, Minin OV, Minin IV. Concept of a photon spatial switch based on an off-axis zone plate: experimental confirmation in the millimeter waves range. *Computer Optics* 2023; 47(2): 230-234. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1210.

Acknowledgements: This work was carried out as part of the Tomsk Polytechnical University development program, partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grant No. 21-57-10001).

Authors' information

Andrey Georgievich Paulish (b. 1963), graduated from Novosibirsk State University with a degree of “Physicist” in 1985. Currently working at the Novosibirsk Branch of Rzhanov Institute of Semiconductor Physics, SBRAS, “Technology and Design Institute of Applied Microelectronics” as Scientific Secretary, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor. Author and co-author of over 150 scientific papers (including 2 monographs published abroad), over 20 inventions and patents of the Russian Federation and international patents. Research interests: semiconductor physics, spectroscopy, optoelectronics systems and devices. E-mail: paulish63@ngs.ru. ORCID ID: 0000-0001-8299-2784.

Oleg Vladilenovich Minin (b. 1960), graduated from Novosibirsk State University with a degree of “Physicist” in 1982, works as a Chief Researcher at the Siberian State University of Geosystems and Technologies, Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member. Metrological Academy of Russia. Author and co-author of over 300 scientific papers (including 10 monographs, including those published abroad), over 100 inventions and patents of the Russian Federation. Research interests: computer optics, nano- and mesoscale photonics, near-field optics. E-mail: oleg.minin@ngs.ru. ORCID ID: 0000-0002-9749-2106.

Igor Vladilenovich Minin (b. 1960), graduated from Novosibirsk State University with a degree of “Physicist” in 1982, works as a Chief Researcher at the Siberian State University of Geosystems and Technologies, Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member. Metrological Academy of Russia. Author and co-author of over 300 scientific papers (including 10 monographs, including those published abroad), over 100 inventions and patents of the Russian Federation. Research interests: computer optics, nano- and mesoscale photonics, near-field optics. E-mail: prof.minin@gmail.com. ORCID ID: 0000-0002-6108-8419.

Received August 16, 2022. The final version – October 27, 2022.
