

Отзыв

официального оппонента доктора физико-математических наук
Степанова Евгения Валерьевича на диссертационную работу
Калининой Анастасии Андреевны «Применение волноводных и дифракционных
оптических элементов в изображающих системах дополненной реальности»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.6 – Оптика.

Диссертация Калининой Анастасии Андреевны посвящена разработке методов формирования виртуальных изображений в системах дополненной реальности с использованием дифракционных и волноводных оптических элементов. Системы дополненной реальности в настоящее время получили достаточно широкое распространение в различных областях, таких как космонавтика, военная дело, медицина и образование, однако качество изображения в существующих устройствах далеко от совершенства. Поэтому, необходимо проведение исследований, направленных на разработку и улучшение методов формирования виртуальных изображений. Полученные в ходе настоящего исследования результаты актуальны и полезны для развития сферы устройств дополненной реальности и имеют непосредственное практическое применение.

Диссертация построена по традиционному принципу и включает в себя введение, обзор литературы, три главы, описывающих результаты собственных исследований, заключение, библиографический список, включающий зарубежные и отечественные источники. Работа иллюстрирована 51 рисунком и 13 таблицами.

Во введении сформулированы цель и задачи работы, изложены научные положения, выносимые на защиту, обоснована актуальность темы исследования, обозначена научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе представлен обзор методов формирования виртуальных изображений в современных устройствах дополненной реальности, а также дан обзор самих устройств дополненной реальности. Приведён анализ достоинств и недостатков существующих систем, обозначены ограничения технологий, используемых для формирования виртуального изображения.

Во второй главе описан оригинальный способ формирования виртуальных изображений с помощью изогнутого клиновидного волновода. Особенность и новизна предложенной автором оптической системы заключается в том, что форма волновода подобрана таким образом, что изображающие пучки, введенные в волновод, выводятся из

него без использования каких-либо дополнительных элементов. Вывод излучения из волновода происходит за счет нарушения условия полного внутреннего отражения, что достигается с помощью выбора специальной формы волновода. Для формирования виртуального изображения вышедшие из волновода изображающие пучки перенаправляются в зрачок наблюдателя с помощью голографического оптического элемента (ГОЭ). Достоинством предлагаемого способа является то, что его применение позволяет достичь большого углового размера виртуального изображения при малых габаритах системы.

В третьей главе представлена оптическая система очков дополненной реальности на основе осевого ГОЭ, при этом, в отличие от существующих решений предложенная система позволяет сформировать не только широкое поле зрения системы, но и большой выходной зрачок. Достигается это за счет использования осевой голограммы, созданной с помощью концентрических сферических волн. Такая голограмма дает наименьшие aberrации в изображающей системе, что позволяет достичь высоких показателей по полю зрения и выходному зрачку в системе очков дополненной реальности.

В четвертой главе описан метод формирования автостереоскопического 3D-изображения в системе проекционного дисплея на основе волновода с размножением выходного зрачка, а также представлен метод увеличения поля зрения в такой системе. Показаны результаты работ, направленных на увеличение поля зрения в 1,6 раз, а также приведены результаты сборки и анализа прототипа.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Защищаемые положения корректно сформулированы и обоснованы.

Научная **новизна** диссертационной работы заключается в следующем:

1. Впервые предложен способ формирования виртуального изображения с помощью изогнутого клиновидного волновода, что позволяет достигать углового размера виртуального изображения более 70 градусов;

2. Впервые показан способ увеличения выходного зрачка в системе дополненной реальности на основе осевого голографического оптического элемента путем выбора подходящей схемы записи ГОЭ, что позволяет снизить aberrации в системе и, как следствие, увеличить выходной зрачок до 10 мм;

3. Впервые продемонстрирован способ формирования широкоугольного автостереоскопического 3D-изображения в системе проекционного дисплея на основе волновода с размножением выходного зрачка.

Достоверность представленных результатов подтверждается соответствием теоретических расчетов с результатами измерений, выполненных на собранных экспериментальных установках.

По результатам диссертационной работы Калининой А.А. было представлено пять устных докладов на международных конференциях. Основные результаты диссертации отражены в трудах двух конференций и в трех статьях в высокорейтинговых журналах, индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science. Кроме того, по материалам диссертации было зарегистрировано 2 патента на изобретение. Эти публикации и патенты стали возможны благодаря высоким научному уровню и практической значимости диссертационной работы.

К содержанию диссертации, ее структуре и оформлению нет особых замечаний, разносторонний материал представлен достаточно четко и ясно, хорошо иллюстрирован.

В качестве несущественного замечания, не влияющего на общую положительную оценку работы, можно отметить лишь многочисленные синтаксические ошибки (отсутствие знаков пунктуации или напротив лишние знаки), наиболее часто встречающиеся в первых двух главах работы.

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, а ее результаты не вызывают сомнений с точки зрения научной новизны и значимости.

Заключение

Представленные в диссертации результаты исследований соответствуют п. 3 (Формирование и обработка оптических изображений, топография и томография. Оптика световодов, плазмонных и гибридных волноводов. Конфокальная микроскопия и оптическая микроскопия ближнего поля.) и п. 4 (Развитие физических основ геометрической оптики. Распространение и преобразование световых пучков. Новые принципы построения оптических систем и инструментов. Явления на границах оптических сред. Фотометрия.) паспорта научной специальности 1.3.6 «Оптика».

Диссертация Калининой А.А. «Применение волноводных и дифракционных оптических элементов в изображающих системах дополненной реальности» является законченной научно-квалификационной работой, удовлетворяющей всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, и вносящей значительный вклад в развитие геометрической оптики и прогресс технологий формирования дополненной реальности, а ее автор, Калинина

Анастасия Андреевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 - Оптика.

Отзыв составил:

Доктор физико-математических наук, Степанов Евгений Валерьевич, профессор, заведующий Отделом молекулярной физики и диагностики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Института общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук»

Степанов Евгений Валерьевич

дата 30.11.2023

Адрес: Россия, 119991, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38

eugene.stepanov@yandex.ru

+7 (499) 503-82-05

Подпись Степанова Евгения Валерьевич заверяю.

ВРИО ученого секретаря Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук», доктор физико-математических наук



Глушков Владимир Витальевич

Адрес: Россия, 119991, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38

Список основных публикаций официального оппонента Е.В. Степанова по теме диссертации А.А. Калининой в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. V.T.Ivashkin, S.G.Kasoev, E.V.Stepanov, Analysis of the Isotopic Composition of Exhaled Air by the Diode Laser Spectroscopy Method in the 2- μ m Region for Diagnosis of Helicobacter pylori-Associated Diseases1, *Optics and Spectroscopy*, 2019, Vol. 126, No. 6, pp. 710–720. DOI: DOI: 10.1134/S0030400X19060109
2. Stepanov, S. G. Kasoev, Multicomponent Analysis of Biomarkers in Exhaled Air Using Diode Laser Spectroscopy, *Optics and Spectroscopy*, 2019, Vol. 126, No. 6, pp. 736–744. DOI: 10.1134/S0030400X19060249
3. Dyachenko A.I., E. V. Stepanov, Yu. A. Shulagin, Monitoring of Fast Variations in the Content of Endogenous CO in Exhaled Air by Methods of Diode Laser Spectroscopy, *Optics and Spectroscopy*, 2020, Vol. 128, No. 7, pp. 1048–1059, DOI:10.1134/S0030400X2007005X
4. E.V. Stepanov, S.G. Kasoev, I.V.Zavalishin, Laser based spectrophotometer for real-time monitoring of carbon monoxide production and utilization by plants, *Journal of Physics, Conference Series*, 2020, Vol. 1560, 012050 DOI:10.1088/1742-6596/1560/1/012050
5. E.V. Stepanov, S.G. Kasoev, S.N. Kotelnikov, G.N. Yulina, To the choice of spectral region for laser based analysis of molecular gases at strong interference of absorption spectra, *Journal of Physics, Conference Series*, 2020, Vol. 1560, 012052, DOI:10.1088/1742-6596/1560/1/012052
6. E.V. Stepanov, S.N.Kotelnikov, S.G. Kasoev, A.Y.Stavtsev, The best absorption lines for the detection of carbon monoxide at 2.35 micron with tunable diode lasers, *International Conference, Journal of Physics, Conference Series*, 2020, Vol. 1560, 012053, DOI:10.1088/1742-6596/1560/1/012053
7. E. V. Stepanov, Interference of molecular absorption bands and selection of the best spectral regions for laser based analysis of molecular gases, Chapter in Book *Newest Updates in Physical Science Research Vol 13*, (International Book), BP, London, 2021, pp 76-83, DOI: 10.9734/bpi/nupsr/v14/11787D
8. V. Stepanov, Modeling and selection of the best absorption lines for the detection of carbon monoxide at 2.35 micron with tunable diode lasers, Chapter in Book *Newest Updates in Physical Science Research Vol 13*, (International Book), BP, London, 2021, pp 107-113, DOI: 10.9734/bpi/nupsr/v13/11786D
9. E. V. Stepanov, Real-time monitoring of carbon monoxide production and utilization by plants with tunable diode laser, Chapter in Book *Newest Updates in Physical Science Research Vol 13*, (International Book), BP, London, 2021, pp 89-94, DOI: 10.9734/bpi/nupsr/v13/11785D
10. E.V. Stepanov, A.N. Glushko, V.K. Konyukhov and D.A. Lapshin, Soft- and hardware platform for spectral analysis systems based on tunable semiconductor lasers, 2022, *Laser Phys.* 32 No.8, 084007 <https://doi.org/10.1088/1555-6611/ac7330> (Q3)
11. E.V. Stepanov, V.T.Ivashkin, Laser analysis of the exhaled air isotope composition in diagnosing nosologically different H. pylori-associated diseases. 2022 *Laser Phys.* 32 084005 <https://doi.org/10.1088/1555-6611/ac732e> (Q3)
12. Ivashkin V.T., Baranskaya E.K., Lapshin A.V., Stepanov E.V. Laser based ¹³C-urea breath test in quantitative assessment of bacterial colonization, severity of inflammation and gastric and duodenal mucosa atrophy in H. pylori infection, *Rus J Gastroenterol Hepatol Coloproctol*, 2022; 32(5). pp.27-37. (Q3)
13. E.V.Stepanov, Data parallel processing in block streams for analysis of long-term series of ozone content in ground atmosphere, 2022 *Laser Phys.* 32 No.8 084011 <https://doi.org/10.1088/1555-6611/ac7336> (Q3)

14. Stepanov E.V., Shcherbakov I.A., Physicochemical Methods of Studying Hydrogen Peroxide for Biomedical Applications. // Physics of Wave Phenomena. – 2023. - V. 31. – N.2. - P.92–97. DOI: 10.3103/S1541308X23020103.

*Flavory -
/Gennadiy F. B./*