

Ахроматические изображающие линзы с несколькими фокусами

С. Е. Дубынин¹, С. С. Копёнкин², А. Н. Путилин³, А. В. Морозов, Н. А. Путилин³,
Ю. П. Бородин², В. В. Дружин⁴

¹ ООО «Исследовательский центр Самсунг», Москва, Россия

² РТУ МИРЭА, Москва, Россия

³ МИИГАиК, Москва, Россия

⁴ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В работе рассмотрены полноцветные голографические/дифракционные оптические элементы (ГОЭ/ДОЭ) для переноса изображения, в частном случае, из точки в точку, и одновременно мультиплицирующие изображение в четыре подобных изображения. Также затронуты вопросы моделирования и записи таких элементов и их эффективности. Отличительной особенностью данных оптических элементов является вариант их использования в системах дополненной или смешанной реальности для увеличения размера зрачка, который критически снижается при увеличении поля зрения системы. Авторами предложены несколько модификаций таких элементов. Была достигнута суммарная эффективность таких элементов 30-40% для каждой из трех длин волн в системе RGB.

Ключевые слова: Голографический оптический элемент, Многофокусная линза, Размножитель зрачка.

Цитирование: Дубынин, С. Е. Ахроматические изображающие линзы с несколькими фокусами / С. Е. Дубынин, С. С. Копёнкин, А. Н. Путилин, А. В. Морозов, Н. А. Путилин, Ю. П. Бородин, В. В. Дружин // HOLOEXPO 2023: 20-я Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. — С. 186–190.

Информационные технологии развиваются безумными темпами и также быстро и все сильнее внедряются в нашу повседневную жизнь: многими процессами управляет искусственный интеллект, а человек все чаще погружается в виртуальный мир. VR-технологии становятся узкоспециализированными и отодвигаются на второй план, а им на смену приходит дополненная/смешанная реальность (AR, MR, XR), которая более удачно вписывается в современные многозадачность и темп.

Решая задачу удобства и компактности устройств дополненной реальности, наш коллектив собрал схему записи и изготовил полноцветные (R - 640нм, G - 532нм, B - 460нм) образцы голографического оптического элемента (ГОЭ) для подобных гаджетов. Поле зрения ГОЭ составляет 90°, дифракционная эффективность порядка 45%, однородность по полю свыше 80% для каждой длины волны, но зрачок при этом всего 1.5 мм, что при таком огромном поле является существенной проблемой. Наиболее оптимальным решением данной задачи является размножение зрачка [1-4].

Сначала был выбран наиболее простой путь – размножить уже имеющийся зрачок. Данный случай имеет несколько возможных реализаций: световодный режим (между двумя полупрозрачными зеркалами (рисунок 1) или двумя дифракционными решетками (рисунок

2)); многослойная структура из нескольких одинаковых ГОЭ со смещением для разнесения зрачков в пространстве (рисунок 3).

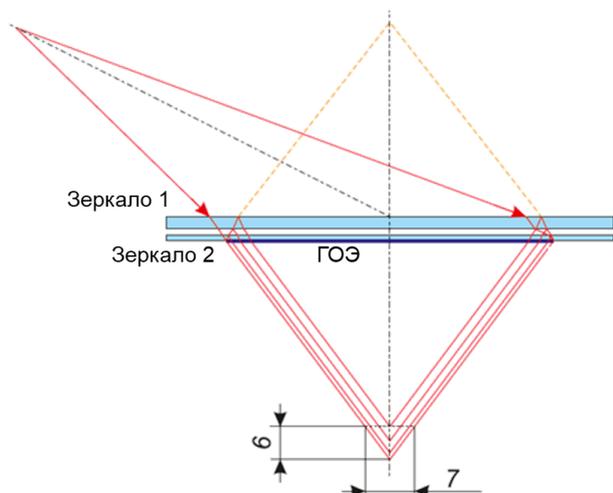


Рис. 1. Оптическая схема с двумя полупрозрачными зеркалами

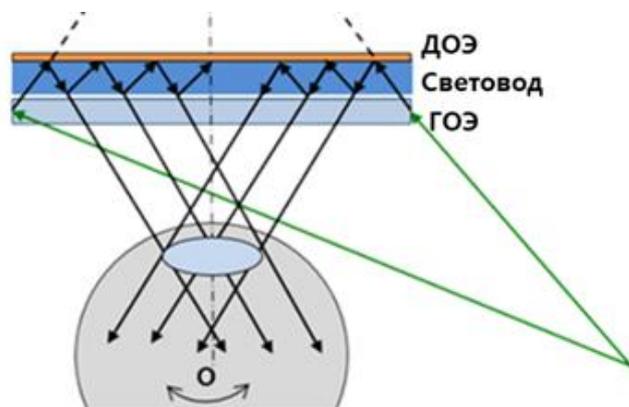


Рис. 2. Оптическая схема с двумя дифракционными решетками

Каждый из этих вариантов обладает своими существенными недостатками: в первом случае происходит размножение зрачка вдоль оси визирования, а также происходит снижение яркости от зрачка к зрачку; во втором варианте размножение происходит в нужной плоскости, но также за счет фиксированного фокуса ГОЭ-линзы зрачки также имеют и продольное смещение; главный недостаток третьего варианта – попадание в зрачок одновременно нескольких изображений, а продольный сдвиг зрачков может быть скомпенсирован за счет использования ГОЭ с разными фокусными расстояниями. Эксперименты подтвердили наличие данных проблем. В ходе экспериментов для записи ГОЭ использовался материал Covestro Bayfol NX 200 и NX 120, а ДОЭ регистрировалось как интерференция двух плоских волн от гелий-кадмиевого лазера на фоторезисте Shipley с последующим снятием УФ-полимерной копии для последующей работы с полноцветным изображением.

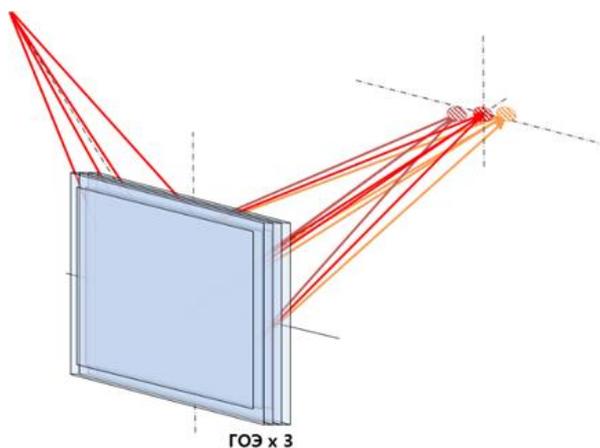


Рис. 3. Многослойная структура из нескольких одинаковых

В дальнейшем было решено осуществить запись многофокусного ГОЭ: перенос из одной точки в несколько. Для этой цели разработана принципиальная оптическая схема (рисунок 4), где в предметной ветви сформировано 4 отдельных канала с наклоном оптической оси, соответствующим повороту глаза при смене направления наблюдения.

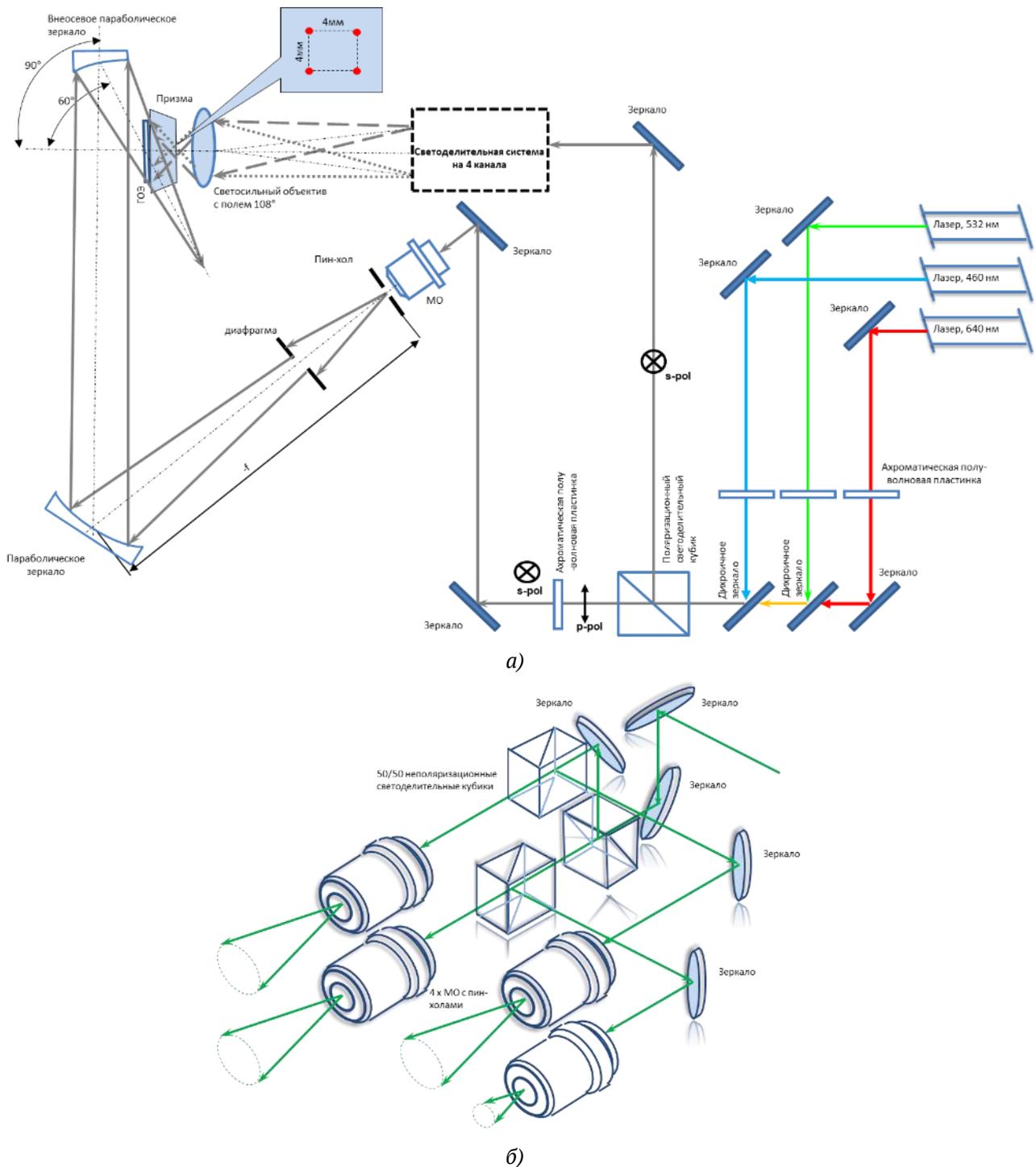


Рис. 4. Оптическая система: а) принципиальная оптическая схема записи, б) светоделительная система на 4 канала

Запись одновременно всех четырех предметных каналов оказалась удачной, а шумы за счет подобранных соотношений сигнал/опора и времени экспозиции удалось подавить и свести к минимуму их влияние. Итоговый результат представлен на рисунке 5.

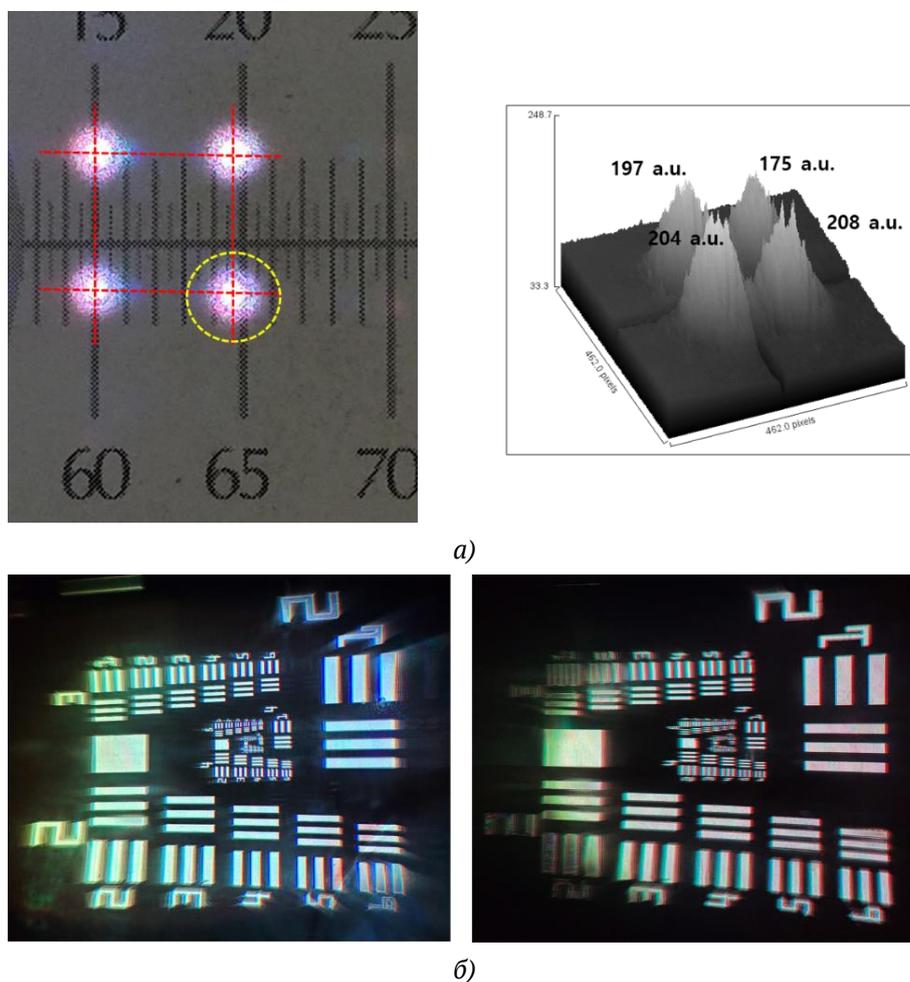


Рис. 5. Результаты: а) формируемые ГОЭ зрочки и их яркость, б) пример изображения тест-объекта в разных зрочках на стенде

В заключении стоит отметить достижение поставленной задачи по увеличению зрочка системы за счет его размножения при сохранении поля зрения 90° при оптимальном снижении яркости (или не существенном повышении требований к источнику, формирующему исходное изображение).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Seong-Bok Kim** Optical see-through Maxwellian near-to-eye display with an enlarged eyebox / Seong-Bok Kim and Jae-Hyeung Park // Optics Letters Vol. 43, No. 4, (15 February 2018)
- [2] **Tiegang Lin** Maxwellian near-eye display with an expanded eyebox / Tiegang Lin, Tao Zhan, Junyu Zou, Fan Fan, and Shin-Tson Wu // Optics Express 38616 Vol. 28, No. 26 (21 December 2020)
- [3] **Патент № 2023/0 134 565 US.** Display apparatus providing expanded eye box / Wontaek Seo, Daeho Yang, Sunil Kim, Bongsu Shin, Geeyoung Sung, — Оpubл. 04.05.2023.
- [4] **Патент № 2022/ 11 487 117 US.** Display apparatus having wide viewing window/ Sunil Kim, Druzhin Vladislav, Malinina Polina, Bongsu Shin, Dubynin Sergey, — Оpubл. 01.11.2022.

Multifocal achromic imaging lenses

*S. E. Dubynin¹, S. S. Kopenkin², A. N. Putilin³, A. V. Morozov, N. A. Putilin³, Y. P. Borodin²,
V. V. Druzhin^{1,4}*

¹ Samsung R&D Institute Rus (SRR), Moscow, Russia

² MIREA, Moscow, Russia

³ MIIGAiK, Moscow, Russia

⁴ BMSTU, Moscow, Russia

The paper presents the holographic/diffraction optical elements (HOE/DOE) for “point-to-point” transmitting of image or more correcting “point-to- several points”. Discuss questions of modeling and recording scheme, efficiency (energy distribute between all points). Main advantage of these HOE/DOE is usage in AR-, MR-systems for increasing of eye-box, because it is smaller at large field of view (FoV). Authors propose several modifications of this HOE/DOE. Diffraction efficiency (DE) was achieved about 30-40% for each color of RGB-system.

Keywords: Holographic optical element, Multi-focal lens, Multiplying of eye-box.