

В. В. Юнеман¹✉, В. С. Ефремов¹

Создание 3D-модели двухдиапазонного зеркально-линзового устройства: обзор материалов и компьютерное моделирование

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: Yuneman2002@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается процесс создания 3D-модели устройства, использующего зеркально-линзовую конструкцию в двух спектральных диапазонах, с акцентом на выбор оптимальных материалов и применение компьютерного моделирования для анализа и оценки его оптических характеристик. Уделено особое внимание исследованию наиболее прогрессивных оптических материалов, таких как фтористый магний (MgF_2), сульфид цинка (ZnS), селенид цинка (ZnSe), кварц (SiO_2), германий (Ge), и т.д. Каждый из этих материалов обладает уникальными оптическими свойствами, которые определяют их пригодность для использования в системах, работающих как в видимой, так и в инфракрасной части спектра. В результате проведенных исследований представлены результаты моделирования, демонстрирующие высокую точность и надежность предложенной конструкции. Работа подчеркивает значимость интеграции современных технологий моделирования в процесс разработки оптических систем.

Ключевые слова: 3D-модель, двухдиапазонное зеркально-линзовое устройство, оптические материалы

V. V. Yuneman¹✉, V. S. Efremov¹

Dual-spectrum optical system of a video camera for access control security systems based on key points of the face.

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: Yuneman2002@mail.ru

Abstract. This paper discusses the process of creating a 3D model of a device using a mirror-lens design in two spectral ranges, with an emphasis on the selection of optimal materials and the use of computer modeling to analyze and evaluate its optical characteristics. The authors pay special attention to the study of the most advanced optical materials, such as magnesium fluoride (MgF_2), zinc sulfide (ZnS), zinc selenide (ZnSe), quartz (SiO_2) and germanium (Ge). Each of these materials has unique optical properties that determine their suitability for use in systems operating in both the visible and infrared parts of the spectrum. As a result of the conducted research, the modeling results are presented demonstrating the high accuracy and reliability of the proposed design. The work emphasizes the importance of integrating modern modeling technologies into the process of developing optical systems.

Keywords: 3D model, dual-range mirror-lens device, optical materials

Введение

В современных оптических системах важной задачей является использование материалов, которые способны эффективно функционировать как в видимом

диапазоне (от 400 до 750 нм), так и в инфракрасном диапазоне (от 3 до 5 мкм). Это особенно актуально для инструментов, разработанных для многоспектрального анализа, тепловизионной техники, лазерных технологий и космической оптики. Выбор материала для оптических элементов становится критически важным этапом в процессе проектирования таких систем.

Методы и материалы

Оценивались различные материалы по их оптическим свойствам и механическим характеристикам для выбора наиболее подходящих для создания 3D-модели. Для оптического моделирования применялась программа Zemax: для анализа оптических характеристик системы, включая точечную диаграмму пятна рассеивания; график концентрации энергии. Для разработки 3D-модели использовалась специализированная программа КОМПАС-3D, которая позволяет создавать точные геометрические модели оптических элементов и систем.

Результаты

При разработке оптических систем, которые должны функционировать в видимом и инфракрасном диапазонах спектра, выбор правильных материалов играет ключевую роль [1]. Одна из основных характеристик, которая существенна для таких материалов, - это их зона прозрачности, которая должна быть как можно шире для эффективной работы в указанных диапазонах.

Кроме того, низкий показатель преломления способствует уменьшению потерь света за счет отражения [2], а высокая механическая прочность обеспечивает долговечность и устойчивость к внешним воздействиям. В табл.1 приведены несколько наиболее распространенных материалов, которые соответствуют этим требованиям.

Таблица 1

Характеристики оптических материалов

Материал	Прозрачность, нм	Показатель преломления (видимый диапазон, $\lambda = 560$ нм)	Показатель преломления (ИК, $\lambda = 4000$ нм)	Шкала Мооса	Примечания
Фтористый магний (MgF ₂)	120 – 7000	1,3786	1,3488	5	Минимальные отражательные потери

Материал	Прозрачность, нм	Показатель преломления (видимый диапазон, $\lambda = 560$ нм)	Показатель преломления (ИК, $\lambda = 4000$ нм)	Шкала Мооса	Примечания
Сульфид цинка (ZnS)	400 – 12000	2,3882	2,253	3 – 4	Увеличенные отражательные потери
Селенид цинка (ZnSe)	600 – 20000	2,6244	2,4332	3 – 4	Ограниченная прозрачность в видимой обла- сти
Кварц (SiO ₂)	180 – 4500	1,5440	1,4580	7	Не подходит для дальнего ИК диапазона
Флюорид кальция (CaF ₂)	150 – 8000	1,4349	1,4096	4 – 5	Хорошая про- зрачность в УФ и ИК диапазо- нах
Карбид кремния (SiC)	200 – 5000	2,6480	2,5538	9 – 10	Высокая проч- ность и термо- стойкость;

Анализируя свойства перечисленных материалов, можно выделить несколько ключевых причин, по которым фтористый магний MgF_2 является наиболее предпочтительным материалом для одновременной работы в видимом и инфракрасном диапазонах:

- MgF_2 обеспечивает пропускание света от ультрафиолетового до среднего инфракрасного диапазона (от 120 нм до 7 мкм). Это позволяет использовать один материал для изготовления оптических элементов без необходимости комбинирования нескольких материалов или применения сложных многослойных покрытий;

- показатель преломления MgF_2 равен примерно 1,38 – это один из самых низких показателей среди известных оптических материалов. Низкий показатель преломления снижает отражательные потери на границах раздела воздух/материал, что повышает светопропускание и улучшает качество изображения;

- MgF_2 обладает высокой твёрдостью по шкале Мооса, равной 5, что обеспечивает устойчивость к механическим повреждениям при эксплуатации оптических элементов. Кроме того, материал химически инертен к воздействию влаги, кислот и щелочей, что значительно расширяет область его применения.

Таким образом, фтористый магний MgF_2 представляет собой оптимальный выбор для производства оптических элементов, так как другие материалы либо имеют ограничения по одному из указанных параметров, либо обладают более

высокими показателями преломления или меньшей устойчивостью к внешним воздействиям.

На основе выбранного материала были представлены результаты компьютерного моделирования двухдиапазонного зеркально-линзового устройства (рис. 1).

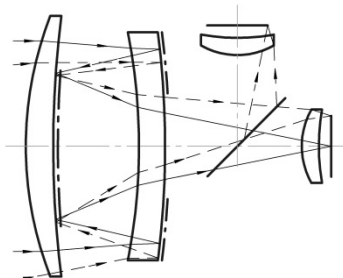


Рис. 1. Оптическая схема двухдиапазонного зеркально-линзового устройства

Двухдиапазонная оптическая система [3 - 7] рассчитывалась на расстояние 1000 мм до объекта, все оптические детали которой выполнены из MgF_2 имеет параметры: $f' = 18,9$ мм; $2\omega = 10^\circ$; $D/f' = 1:1,5$; VIS (видимый диапазон) ($\Delta\lambda$ от 0,4 до 0,75 мкм); MWIR (средневолновый ИК диапазон) ($\Delta\lambda$ от 3 до 5 мкм). Большой последний воздушный промежуток позволяет разместить спектроделительное зеркало и отклонить излучение диапазона MWIR на угол 90° (рис. 2).

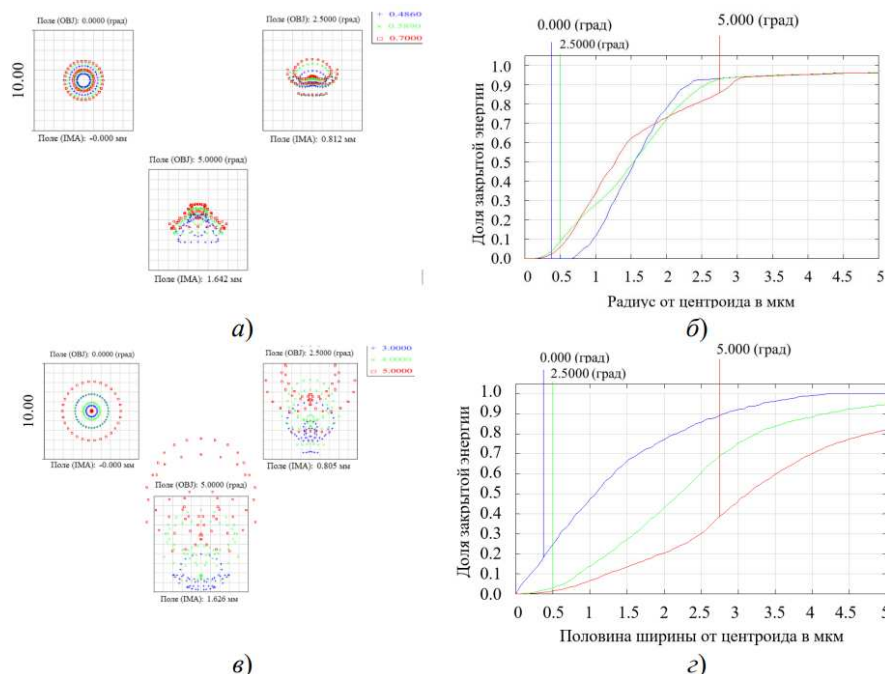


Рис. 2. Результаты моделирования МДЗЛС из материала MgF_2 в пикселе размером 10×10 мкм (VIS) и размером 10×10 мкм (MWIR): а), в) точечная диаграмма пятна рассеивания; б), г) графики концентрации энергии [8]

Таким образом, результаты оптического моделирования подтверждают эффективность выбранной системы.

Созданная 3D модель данного устройства наглядно иллюстрирует его конструкцию и особенности работы в двух диапазонах (рис. 3,4).

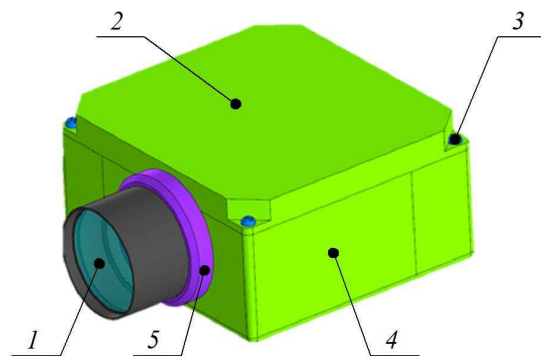


Рис. 3. Двухдиапазонное зеркально-линзовое устройство:
1 – объектив; 2 – крышка; 3 – винт; 4 – корпус; 5 – резьбовое кольцо

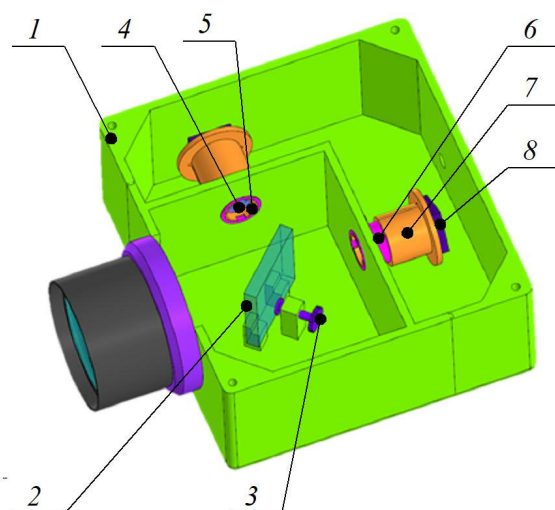


Рис. 4. Двухдиапазонное зеркально-линзовое устройство с открытой крышкой:
1 – стенка; 2 – спектроделительное зеркало; 3 – зажим; 4 – линза; 5 – резьбовое кольцо;
6 – стакан; 7 – втулка; 8 – кронштейн

Модель позволит лучше понять взаимодействие оптических элементов и их расположение в системе. В корпусе предусмотрены пазы для установки двух оптических стаканов 6 и спектроделительного зеркала 2. На стакан накручивается втулка 7, а на втулку устанавливается кронштейн с помещенным в него матрицей 8 (для инфракрасного или видимого диапазонов). В стакан устанавливается линза 4 и фиксируется резьбовым кольцом 5. Спектроделительное зеркало устанавливается в пазы на корпусе и фиксируется зажимом 3. Боковая крышка 1 устанавливается на корпусе через крепление вида «ласточкин хвост» (рис. 4). Закры-

вает все устройство верхняя крышка, устанавливаемая на четыре винта.

Данная модель не только служит визуальным инструментом для анализа проектируемой системы, но и может быть использована для дальнейших исследований и оптимизации конструкции.

Заключение

В данной работе был представлен результат разработки 3D-модели двухдиапазонного зеркально-линзового устройства с акцентом на выбор оптимальных оптических материалов и применения компьютерного моделирования для анализа его характеристик.

Проведенные исследования подтвердили, что фтористый магний MgF_2 представляет собой наиболее подходящий материал для создания оптических элементов, функционирующих как в видимом, так и в инфракрасном диапазоне (от 3 до 5 мкм).

Результаты компьютерного моделирования продемонстрировали надежность предложенной конструкции, что открывает новые перспективы для разработки многоспектральных систем контроля. Интеграция современных технологий моделирования в процесс проектирования оптических устройств значительно улучшает их характеристики и расширяет область применения, что является важным шагом в развитии оптической науки и техники.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Егоренко М.П., Ефремов В.С. Выбор оптических материалов для многоканальных зеркально-линзовых систем с зеркалами Манжена видеокамер беспилотных миниаппаратов / М. П. Егоренко, В. С. Ефремов. // Оптический журнал. 2020. № 12. С. 18-31.
2. Оптические материалы и ахроматическая коррекция типовых компонентов оптических систем: учеб. Пособие. Новосибирск: СГГА. – 2013. 284 с.
3. Патент на полезную модель № 98072. Двухспектральная зеркально-линзовая система. Дата государственной регистрации: 27.09.2010. Правообладатель: ГОУ ВПО «СГГА».
4. Егоренко М. П. Хроматические свойства зеркала Манжена в нескольких диапазонах спектра / М. П. Егоренко, В. С. Ефремов. – Текст: непосредственный // Изв. вузов. Приборостроение. – 2009. – № 6. – С. 53–58.
5. Егоренко М. П. Двухспектральная оптическая система для нанодронов / М. П. Егоренко. – Текст: непосредственный // Интерэкспо Гео-Сибирь Том №2. – 2017. – С. 38-40.
6. Юнеман В. В. Двухдиапазонное оптическое устройство видеокамеры систем безопасности контроля доступа по ключевым точкам лица / В. В. Юнеман, В. С. Ефремов. – Текст: непосредственный // Интерэкспо Гео-Сибирь Том №6. – 2024. – С. 310-316.
7. Егоренко М. П. Многозонная зеркально-линзовая система с зеркалами Манжена / М. П. Егоренко. Дисс. канд. техн. наук. Новосибирск, 2022. – 157 с.
8. Слюсарев, Г. Г. Расчет оптических систем / Г. Г. Слюсарев. – Москва. Изд-во Машиностроение, 1975. – 640 с.

© В. В. Юнеман, В. С. Ефремов, 2025