

# Фазовый модулятор света для голографической проекции

Ю. П. Гуцо

Общество с ограниченной ответственностью НаноРельеф Дисплей, IT кластер Сколково и Московский инновационный кластер.

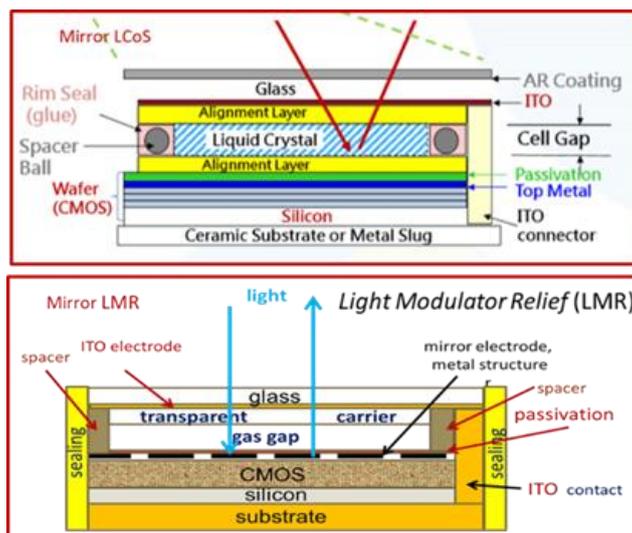
На базе фазовых перестраиваемых дифракционных решеток, разработанных нашей компанией, предложены три варианта электрооптического фазового модулятора света Рельеф. Модулятор может работать на отражение с помощью диэлектрического зеркала или с применением призмы полного внутреннего отражения. Кроме того, в докладе представлен вариант модулятора с вогнутой отражающей поверхностью. Такая конструкция модулятора позволяет сократить оптический путь голографического проектора и уменьшить габариты устройства. При введении в носитель записи Фурье-голограммы изображения кадра можно с помощью когерентного излучения получить голографическое представление информации известными методами. Используя фазовые модуляторы света, можно записать Фурье-голограммы, создавая систему терабайтной памяти. В сообщении подробно рассмотрены характеристики пространственного модулятора света Рельеф и возможные области применения.

*Ключевые слова:* Оптика, Голография, Дифракционные оптические элементы, Фазовые перестраиваемые дифракционные решетки.

*Цитирование:* Гуцо, Ю. П. Фазовый модулятор света для голографической проекции / Ю. П. Гуцо // HOLOEXPO 2023: 20-я Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. — С. 149–154.

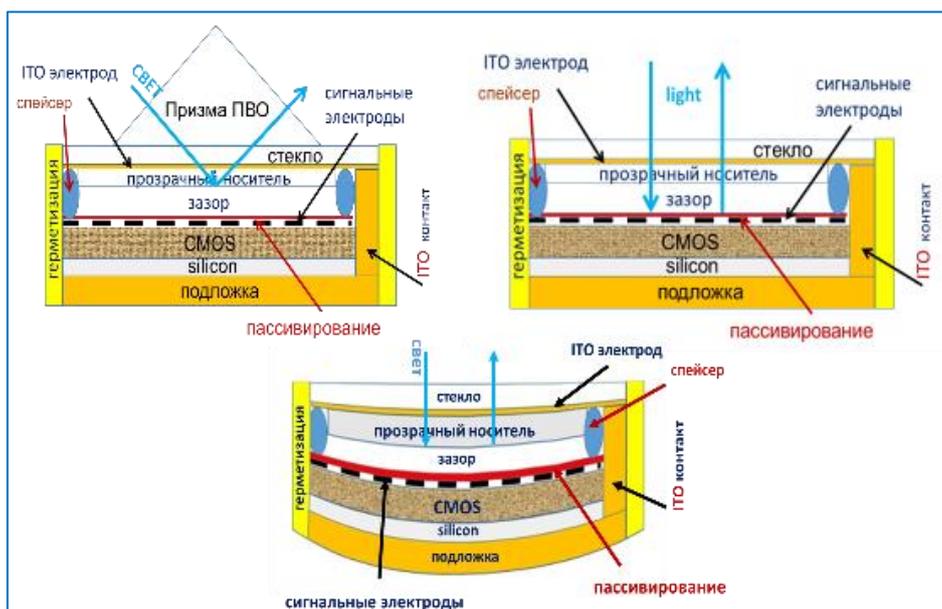
## Принцип действия LMR

Принцип действия электрооптического фазового модулятора света Рельеф, для которого принято международное сокращение LMR (Light Modulator Relief), основан на преобразовании электрического сигнала в геометрический рельеф на прозрачном диэлектрическом гелеобразном слое. Конструкция LMR подобна жидкокристаллическим модуляторам света LCD, как показано на рис. 1. Это существенно облегчает запуск производственного процесса для LMR.



**Рис. 1.** Сопоставление конструкций жидкокристаллического модулятора и LMR

Для определения режима оптимальной работы LMR нами было решён цикл краевых задач физики [1]. Анализ полученных результатов даёт возможность определить рабочие параметры модулятора и его применений (рис. 2) [2–14].



**Рис. 2.** Три варианта конструкции LMR

Модулятор LMR представляет – электрооптический чип, в котором производство носителя – точный автоматизированный процесс смешения четырех компонентов. Все процессы требуют чистых помещений. Для простых модификаций LMR часть процессов может быть совершена в ручном режиме с увеличением процента брака и времени, снижением производительности, но с уменьшением CAPEX производственного оборудования. Это приемлемо, в частности, для сектора лазерного освещения.

Как видно из рассмотрения рис. 3 и рис. 4, нами разработана новая технология фазовой модуляции световой волны на основе перестраиваемых фазовых дифракционных решеток с

экспериментальной дифракционной эффективностью 98,6% и частотой переключения информации до 0.5 МГц. Технология защищена 126 патентами.

Используемые известные технологии модуляции света достигли предела из-за физических ограничений. Вследствие этого соотношение цена/качество в дальнейшем не будет улучшаться. Именно поэтому на рынках уже в течение 10-12 лет отсутствуют адекватные по параметрам приборы форм-факторов Микро и Пико. В ближайшие 10 лет с помощью LMR наша компания надеется на технологический прорыв в области электрооптических модуляторов излучения.

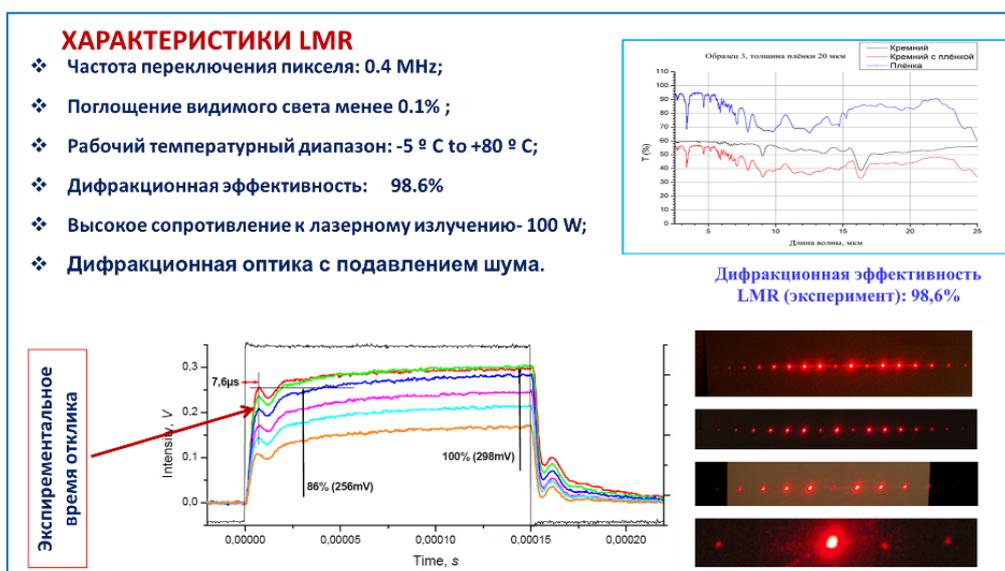


Рис. 3. Характеристики LMR

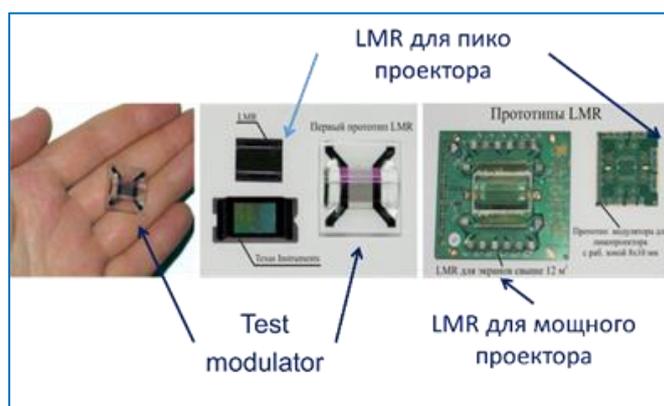
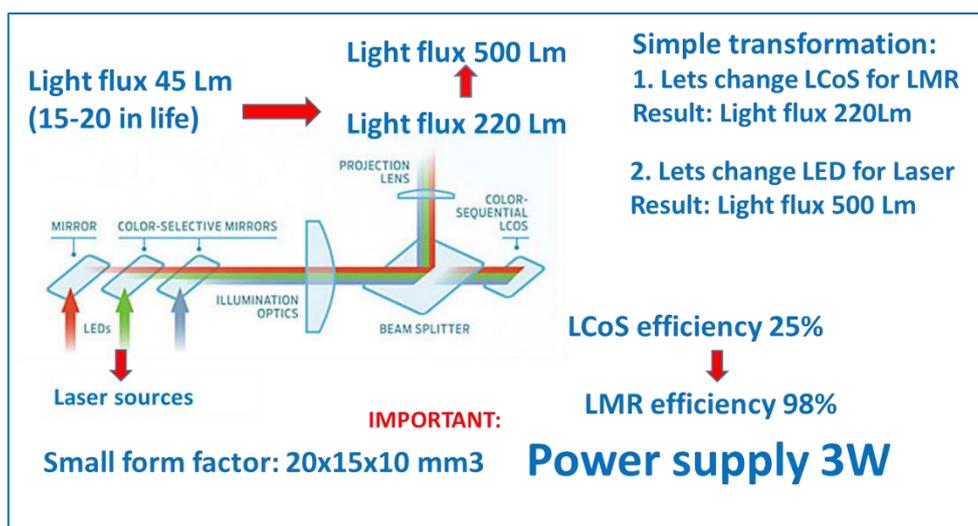


Рис. 4. Экспериментальные образцы LMR

Основные используемые технологии модуляции света основаны на делении рабочей поверхности модулятора на множество (массив) микрзеркал (MEMS, DMD) и отличаются низким быстродействием, наличием подвижных частей, применением рассеивающей оптики, низким КПД преобразования входного излучения в полезный световой поток, отсутствием возможности фильтрации шумов выходного сигнала. В целом указанные

обстоятельства приводят к созданию дорогих, габаритных, ненадежных устройств и к экономическим противоречиям в плане отношения цена/качество.

В качестве иллюстрации наших возможностей, мы рассчитали вариант пикопроектора с лазерными источниками света с позиции получения максимальной яркости при применяемой стандартной мощности источника питания 3 Вт. Как показано на рис. 5, увеличение светового потока в 10 раз не сопровождается увеличением мощности источника питания [10, 13].



**Рис. 5.** Расчетный рекордный световой поток (500Lm) пико проектора с LMR и лазерными источниками при стандартной мощности источника питания 3 Вт

Следует отметить, что кроме голографической проекции и создания голографической терабайтной памяти на основе Фурье-голограмм, существует достаточно большой спектр применения LMR. К таким применениям относятся: лазерные проекторы большой и малой мощности; сканеры без подвижных частей и лидары без подвижных частей [2, 4, 6–9, 11], двухсторонняя оптическая связь [3, 5, 12, 14]; осветительные приборы четвертого поколения; полиграфия; солнечно-слепые панели (система, не имеющая аналогов в мире), биноклярный стереоскопический дисплей в очках; стереоскопический дисплей в скафандре; виртуальный дисплей; Head-Up типов: «See-through», «See-around» и «Full-immersion».

### Заключение

Предлагаемый нами электрооптический пространственный модулятор LMR на перестраиваемых фазовых дифракционных решетках имеет практически предельно возможную дифракционную эффективность 98,6%. Это дает принципиальные преимущества на рынке на длительный срок и позволяет создавать надежные дешевые твердотельные устройства с малыми масс-габаритными показателями, без подвижных частей.

Особо следует подчеркнуть, что LMR не имеет четких границ пикселя, из-за которых сложно подавить уровень шума при использовании лазерных источников света в известных зеркальных электрооптических модуляторах.

НИОКР завершены. LMR реализован в опытном производстве – произведено 200 модуляторов в технопарке Дортмунда. Установлены и подтверждены рабочие параметры модулятора. Отработана базовая технология. Оценочно уровень готовности – УГТ6. Проект готов к реализации в одном из секторов. Потребуется ОКР для конкретных моделей.

Разработанной нами новый класс модуляторов, не имеющий аналогов в мире, следует запустить в серийное производство как типовой набор нескольких вариантов LMR, закрывающих наиболее актуальные области применения такие как: лидары, обычные пико проекторы, голографические проекционные устройства и голографическая запись информации, устройства дополненной реальности, источники света четвертого поколения, элементы волоконной коммуникации, односторонняя и двухсторонняя оптическая связь и др.

### **Благодарности**

Автор выражает благодарность сотрудникам кафедры «Оптоэлектронных устройств и систем» Российского Технологического Университета (МИРЭА), фондам: Бортника, Роснано, Технополису Дортмунда и Инновационному Центру Сколково за финансовую помощь и аппаратную поддержку высокотехнологических работ по исследованию экспериментальных характеристик LMR.

### **Список источников**

- [1] **Гущо, Ю. П.** Физика рельефографии / Ю. П. Гущо – М.: Наука, 1999 – 526 с.
- [2] **Патент № 2 690 990 РФ.** Лидар без подвижных частей / Ю. П. Гущо, А. В. Бурага, М. А. Гущо. – Оpubл. 07.07.2019.
- [3] **Гущо, Ю. П.** Communication with landing spacecraft via asymmetrical free-space optical system based on modulating retroreflector / Nikita Zivenko, Alexey Manyak, Oleg Strukov, Vladimir Kuznetsov // Advances in the Astronautical Sciences Series - 2nd IAA-AAS Conference on Space Flight Mechanics. – 2019. – P.7.
- [4] **Патент № 2 680 655 РФ.** Дифракционный лидар / Ю. П. Гущо, М. А. Гущо. – Оpubл. 25.02.2019.
- [5] **Патент № 2 687 989 РФ.** Оптическая система связи / Ю. П. Гущо, А. В. Бурага, М. А. Гущо, О. Н. Зивенко. – Оpubл. 16.05.2019.
- [6] **Патент № 2 690 537 РФ.** Фазированный лидар / Ю. П. Гущо, А. В. Бурага, М. А. Гущо, В. В. Кузнецов. – Оpubл. 04.06.2019.
- [7] **Патент № 2 756 987 РФ.** Компактный лидар / Ю. П. Гущо, М. А. Гущо. – Оpubл. 08.10.2021.
- [8] **Патент № 2 759 260 РФ.** Лидар / Ю. П. Гущо, М. А. Гущо. – Оpubл. 11.11.2021.
- [9] **Гущо, Ю. П.** Фазированный лидар / В. В. Кузнецов, К. В. Шабельник // Международная научно-техническая конференция Оптические технологии, материалы и системы // Оптотех-2021 // Сборник докладов ИПТИП РТУ МИРЭА – под ред. А. С. Сигова – М.: РТУ МИРЭА, С. 370.
- [10] **Гущо, Ю. П.** Об одном способе температурной стабилизации фазированных перестраиваемых дифракционных решеток / Н. О. Зивенко, В. В. Кузнецов, А. П. Маняк, М. А. Гущо // Российская научно-техническая конференция «Инновационные технологии в электронике и приборостроении» — 05.04.2021-12.04.2021.

- [11] **Гущо, Ю. П.** Технология для разработки лидаров нового поколения / В. В. Кузнецов, М. А. Гущо // Российская научно-техническая конференция «Инновационные технологии в электронике и приборостроении» — 05.04.2021-12.04.2021.
- [12] **Гущо, Ю. П.** Робототехническое управление медучреждением / В. В. Кузнецов, Н. О. Зивенко // Российская научно-техническая конференция РНТК ФТИ — 16-17 апреля 2020, с. 5.
- [13] **Гущо, Ю. П.** HUD устройство дополненной реальности на базе фазового модулятора света «Рельеф» / В. В. Кузнецов, Н. О. Зивенко, А. П. Маняк // Электронная VIII Научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Фотосенсорика: новые материалы, технологии, приборы, производство» — 07 февраля 2019, с. 4.
- [14] **Гущо, Ю. П.** Устройство передачи информации по открытому оптическому каналу на базе фазового модулятора света «Рельеф» / В. В. Кузнецов, А. П. Маняк // VIII Научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Фотосенсорика: новые материалы, технологии, приборы, производство» — 07 февраля 2019, с. 6.

## **Phase light modulator for holographic projection**

*Yury Gushcho, Dr.Si., prof.*

NanoRelief Display Limited Liability Company, Skolkovo IT Cluster and the Moscow Innovation Cluster

Based on the phase-tunable diffraction gratings developed by our company, we propose three variants of the electro-optical phase light modulator Relief LMR (LMR). The modulator can operate on reflection using a dielectric mirror or using a prism of total internal reflection. In addition, a variant of the modulator with a concave reflective surface is presented. This design of the modulator makes it possible to reduce the optical path of the holographic projector and to reduce the size of the device. By introducing a Fourier-hologram image of a frame into the recording medium, it is possible to obtain a holographic representation of information by known methods using coherent radiation. Using phase modulators of light, it is possible to record Fourier-holograms of the image on a carrier, creating a system of terabyte memory. In the communication the characteristics of the spatial light modulator Relief are discussed in detail.

*Keywords:* Optics, Holography, Diffractive optical elements, Phase-tunable diffractive gratings.