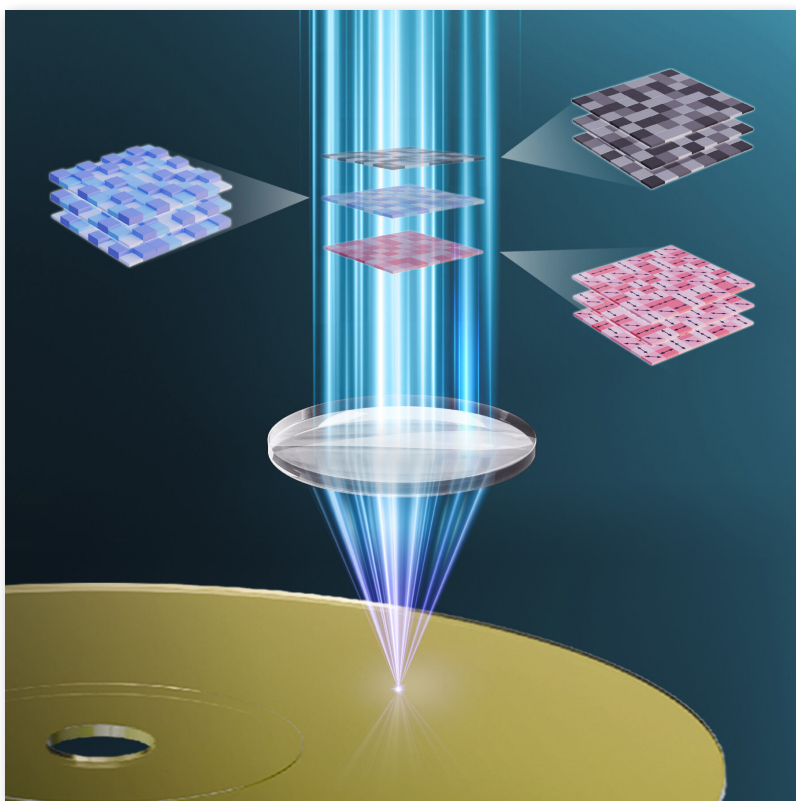


# Голографический способ хранения – больше данных в единице объема

По материалам *Optica*

**К**аждый, кто так или иначе сталкивается с хранением данных, понимает, что объемов хранения никогда не бывает много. Жесткие диски, flash-носители, памяти смартфонов и других устройств заполняются с какой-то пугающей скоростью. Объем, еще вчера казавшийся едва ли не бесконечным, очень быстро иссякает, что заставляет пользователей приобретать все новые и новые носители, а ученых – искать технологии и способы повышения удельной емкости систем хранения.



*Исследователи разработали голографический способ хранения данных, позволяющий записывать и считывать информацию в трех измерениях, сочетая такие свойства света, как амплитуда, фаза и поляризация (иллюстрация Сяоди Тан, Фуцзяньский педагогический университет Китая)*

Группа исследователей разработала голографический способ хранения данных, с помощью которого информация записывается и считывается в трех измерениях за счет сочетания трех свойств света – амплитуды, фазы и поляризации. Позволяя сохранять больше данных в единице объема, новый метод способен помочь продвинуться в усилиях по удовлетворению растущей глобальной потребности в хранении данных.

При голографическом хранении данных используется свет лазера для записи цифровой информации внутри

материала. Вместо записи данных только на поверхности носителя, как это делается в жестких и оптических дисках, в данном случае записывается множество перекрывающихся световых таблиц по всему объему материала, что позволяет добиться существенно более высокой плотности хранения и повышенной скорости передачи данных.

*«В традиционных голографических системах хранения данных для кодирования информации используется только одно измерение света, например, только амплитуда или только фаза. В лучшем случае, сочетание этих двух измерений, – отметил руководитель исследовательской группы Сяоди Тан из Фуцзяньского педагогического университета в Китае. – Основываясь на принципе поляризационной голографии, мы использовали архитектуру глубокого обучения, известную как модель сверточной нейронной сети, чтобы получить возможность применения поляризации как независимого измерения информации».*

В работе, которая была опубликована на сайте Optica Publishing Group – ведущего научного издательского подразделения международного Оптического общества, исследователи описывают свой новый метод голографического хранения данных и показывают, что с его помощью можно повысить плотность хранимой информации при одновременном упрощении ее считывания.

*«При дальнейших развитии и коммерциализации этот метод многомерного голографического хранения информации позволил бы строить меньшие по размеру центры обработки данных (ЦОД) и повысить эффективность крупных архивных хранилищ с одновременным увеличением эффективности обработки и передачи данных, – сказал Тан. – Кроме того, метод мог бы внести вклад в более защищенную передачу, оптическое шифрование и усовершенствованную визуализацию информации».*

## Использование поляризации для записи информации

При голографическом хранении данных информация записывается в виде похожих на изображение страниц с данными, которые – страницы – формируются с помощью лазера и выглядят как световые таблицы. В процессе кодирования цифровые данные преобразуются в эти страницы для последующей записи, а при декодировании записанные страницы восстанавливаются в исходное состояние данных пользователя.

Хотя теоретически разные свойства света могут использоваться для кодирования большего количества информации в каждой странице данных, на практике это связано с определенными трудностями. Чтобы преодолеть их, исследователи потратили годы на оттачивание тензорной поляризационной голографии, при которой записанное в голограмме состояние поляризации сохраняется в процессе реконструкции. Это позволило использовать поляризацию как надежный канал записи информации.

Далее исследователи разработали схему кодирования с 3D-модуляцией, выполняемой путем управления интенсивностью и фазой состояний поляризации, ортогональных друг к другу, и использования метода двухфазной голограммы. Это дало возможность применить один, только фазовый, пространственный модулятор света для кодирования амплитудной, фазовой и поляризационной информации в оптическом поле.

изображений интенсивности дифракции. Модель изучает свойства амплитуды, фазы и поляризации оптического поля из двух взаимодополняющих изображений дифракции, одно из которых записано с вертикальным поляризатором, а второе – без него. Используя эти изображения интенсивности в качестве входных, обученная нейронная сеть способна одновременно декодировать амплитуду, фазу и поляризацию, благодаря чему достигается увеличение плотности хранения и повышается скорость передачи данных.

### Декодирование с помощью нейросети

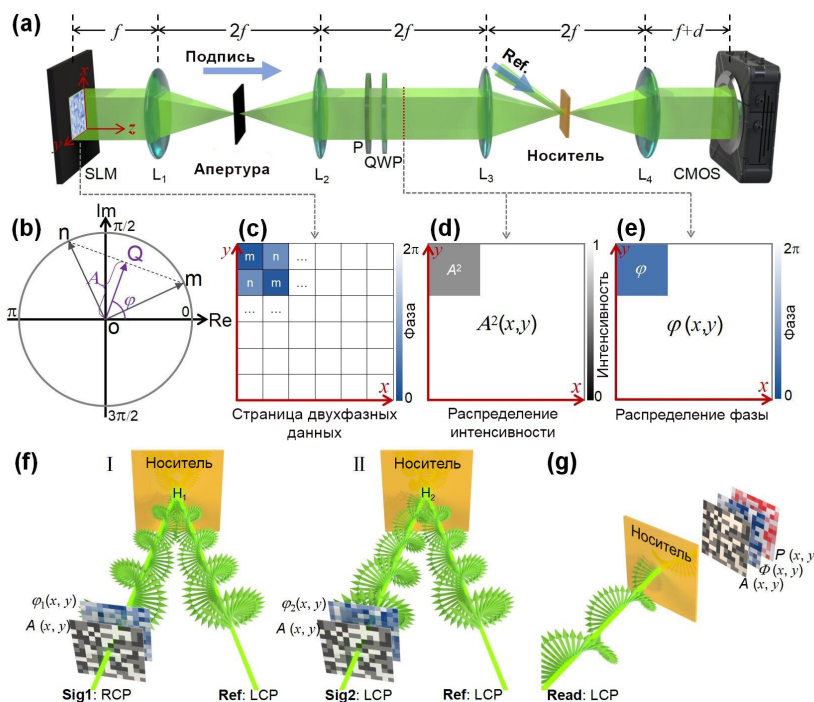
После оценки теории, лежащей в основе нового метода, исследователи построили компактную установку для записи и считывания оптического поля, закодированного в чувствительном к поляризации носителе. В процессе оценки и декодирования записанные изображения интенсивности были проанализированы для определения

амплитудных, фазовых и поляризационных характеристик в распределениях интенсивности. Эти характеристики затем использовались в качестве входных данных для декодирования с помощью нейросети, чтобы 3D-данные можно было реконструировать одновременно, измеряя только интенсивность.

«В целом, наши результаты показали, что многомерное совместное кодирование существенно увеличивает объем информации, содержащейся на одной голографической странице данных, за счет чего повышается емкость хранения, – сказал Тан. – Кроме того, синхронное декодирование с помощью нейросети уменьшает необходимость в комплексных измерениях и пошаговой реконструкции, поддерживая более эффективные считывание и декодирование. Это могло бы открыть практический путь к высокоскоростному голографическому хранилищу данных большой емкости».

Разработчики отмечают, что на данном этапе все сделанное находится на стадии исследовательской демонстрации, а для последующей коммерциализации потребуются дальнейшая работа. Чтобы сделать метод более практически пригодным для эксплуатации в реальных условиях, они планируют повысить уровни серого при кодировании, чтобы еще больше увеличить емкость и улучшить долговременную стабильность, единообразие и повторяемость характеристик записанных носителей.

Исследователи также планируют совместить систему с методами волнометрического голографического мультиплексирования, чтобы получить многоканальное хранилище и улучшить взаимную интеграцию оптических аппаратных средств и алгоритмов декодирования в целях ускоренного и более надежного извлечения данных в условиях практического применения.



(a) – схематическая диаграмма системы голографического хранения данных; (b) – схематическая диаграмма, иллюстрирующая комплексную плоскость для двухфазного разложения комплексной амплитуды; (c) – пример шахматной таблицы для двух фазовых значений  $m$  и  $n$ . Также показаны: (d) – пример распределения интенсивности в плоскости изображения и (e) – пример распределения фазы в плоскости изображения. На диаграмме (f) показаны первая (I) и вторая (II) записи, а считанные данные представлены на (g). (иллюстрация Сюди Тан, Фуцзяньский педагогический университет Китая)

Декодирование комбинированной 3D-информации об амплитуде, фазе и поляризации является довольно сложной процедурой, потому что сенсоры реагируют только на интенсивность света, то есть амплитуду, и не способны напрямую считывать фазу и состояние поляризации.

Исследователи решили эту задачу путем применения теории тензорно-поляризационной голографии и разработали модель сверточной нейросети для одновременного извлечения трехмерной информации напрямую из