

**Оптические компьютеры и  
устройства ЭВМ,  
использующие оптические  
элементы**

# Процессор.

Работы по созданию оптического процессора начались еще в 80-х годах прошлого века. Создание оптических процессоров не афишировалось, поскольку все процессоры создавались и создаются по кремниевой технологии.

Началу работ предшествовали несколько достижений в области оптических квантовых генераторов – лазеров. Целью не стояло заменить кремниевую технологию более совершенной, а просто ради интереса создать альтернативный тип процессора.

# Предпосылки

В 1964 году А. М. Прохоров, Н. Г. Басов, Ч. Таунс получили Нобелевскую премию за изобретение оптических квантовых генераторов. А в 1971 году Д. Габор получил премию за изобретение голографического метода.



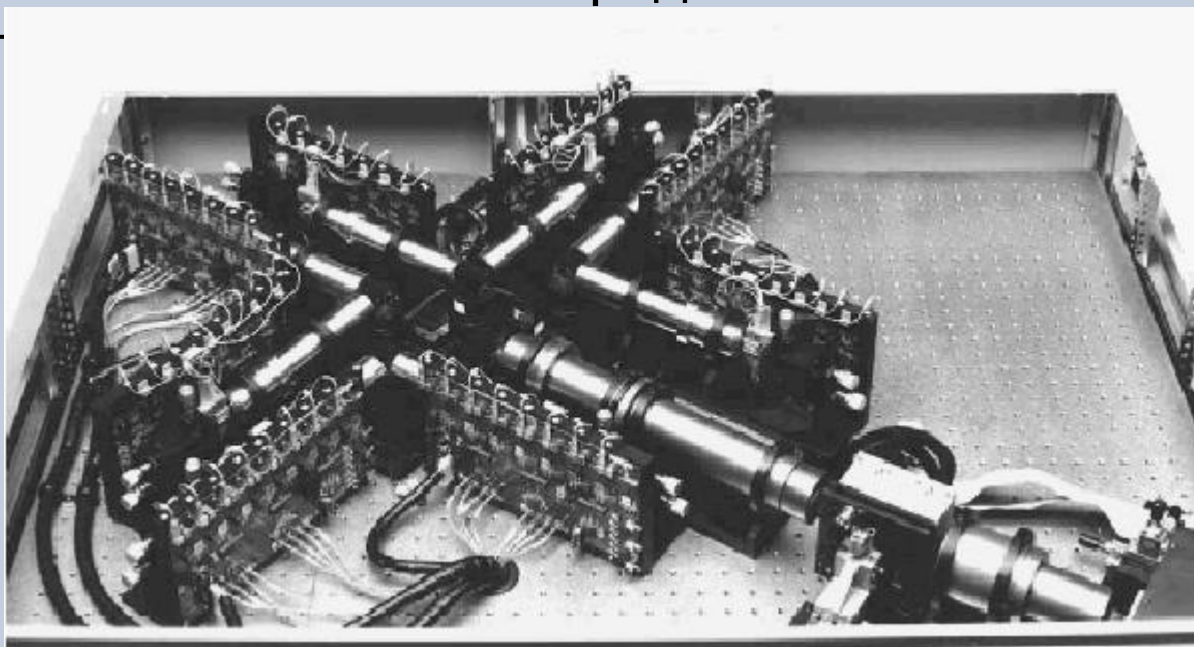
# Предпосылки

Созданию оптических процессоров способствовал и ряд блестящих достижений в области Фурье-оптики и нелинейной оптики. Простейшие оценки показывали возможность создания компьютеров, производительность которых на много порядков превышала бы возможности ЭВМ.

Однако в процессе разработок была потеряна истинная цель – создание исключительно оптического компьютера, и ныне основой практически всех реально действующих оптических компьютеров является **оптоэлектроник**.

# Реальные процессоры

- В 1990 году фирма «Bell» создала макет оптического устройства и продемонстрировала выполнение логических и арифметических операций с очень высоким быстродействием.
- Второе поколение было представлено компьютером DOC-



# Реальные процессоры

А в 2003 году компания Lenslet создала первый в мире оптический процессор, причем это была не демонстрационная модель, как в 1990-ом году, а коммерческий продукт, который можно было купить.

Процессор назывался EnLight256, его производительность составляет 8 тераоп (триллионов арифметических операций в секунду). Операции выполняются за счет манипуляции потоков света, а не электронов, поэтому достигается такая производительность.

# EnLight 256

EnLight256 от Lenslet – это первый оптический DSP (Digital Signal Processor), превосходящий в три раза лучшие электронные DSP. Вообще-то, если уже быть предельно точным, то EnLight256 – это гибридный оптический процессор – он не весь полностью оптический, а содержит преобразователи. В нем изменено только ядро (ведь все остальное остается таким же – электрическим), но получен огромный прирост производительности.

Ядро этого процессора – оптическое, а входная и выходная информация представляется в электронном виде. Ядро состоит из 256 VCSEL-лазеров, пространственного модулятора света, набора линз и приемников. Производительность процессора составляет 8 триллионов операций в секунду: за один такт (8 нс) процессор умножает 256-байтное число на матрицу 256x256.



# Преимущества оптических технологий

- ✓ Возможность параллельной передачи и обработки изображений одним световым пучком. Возможность одновременной, параллельной работы с различными длинами волн.
- ✓ Возможность использования прозрачных сред для хранения, обработки и коммутации информации (в прозрачной среде информация, закодированная оптическим лучом, может обрабатываться без затрат энергии! ).
- ✓ Обработка информации в оптическом компьютере может осуществляться как в процессе переноса изображения через оптическую систему, реализующую вычислительную среду, так и путем осуществления переключений в так называемом оптическом транзисторе .
- ✓ Коммутация информационных каналов в оптическом компьютере осуществляется с большой скоростью и отличается простотой реализации за счет того, что лучи света в пустом пространстве распространяются, не взаимодействуя друг с другом.
- ✓ Оптическая система ничего не излучает во внешнюю среду, обеспечивая защиту компьютера от перехвата информации.

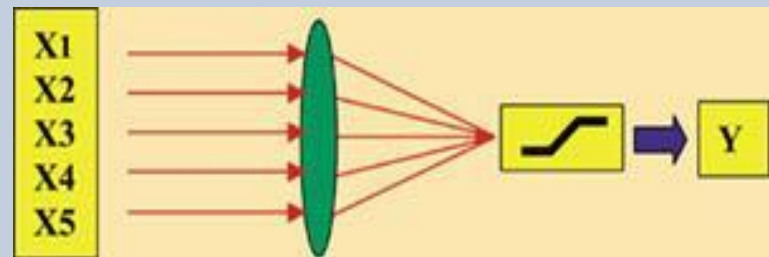


# Новая элементная база

Базисная логическая функция - элементарный кирпичик, с помощью которого можно построить любой, сколь угодно сложный цифровой компьютер.

Базисная логическая функция имеет множество оптических реализаций. На рисунке дан простой пример построения многовходовой функции ИЛИ-НЕ/И-НЕ с помощью линзы и порогового устройства-инвертора.

Здесь в качестве порогового элемента можно использовать как оптическое светоклапанное устройство (переключающаяся, бистабильная оптическая среда), так и простой фотоэлектронный приемник с нелинейной передаточной характеристикой (то есть нелинейной зависимостью интенсивности выходного светового потока от входного).



# Обработка векторов

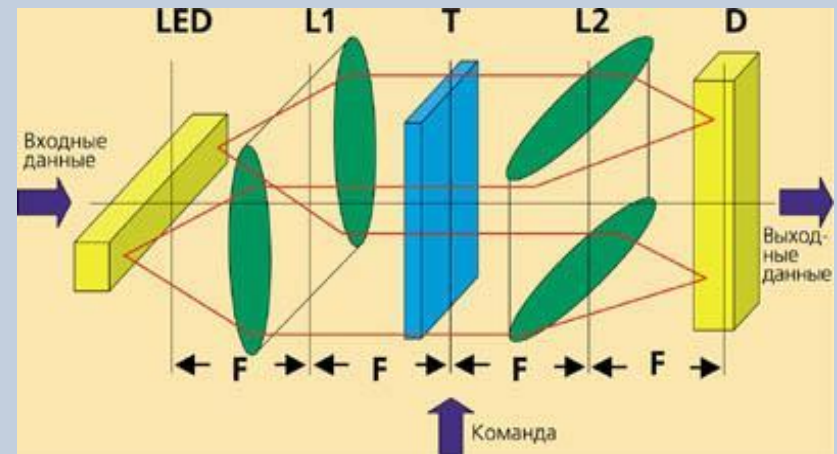
На рисунке показан оптический процессор, реализующий произвольное матричное преобразование входного вектора-строки в выходной вектор-столбец.

Здесь LED - линейка светоизлучающих диодов. Они расположены на фокальной линии цилиндрической линзы L1.

T - оптический транспарант с записанной на нем матрицей пропускания  $T(i, j)$ .

Строки матрицы параллельны образующей первой линзы.

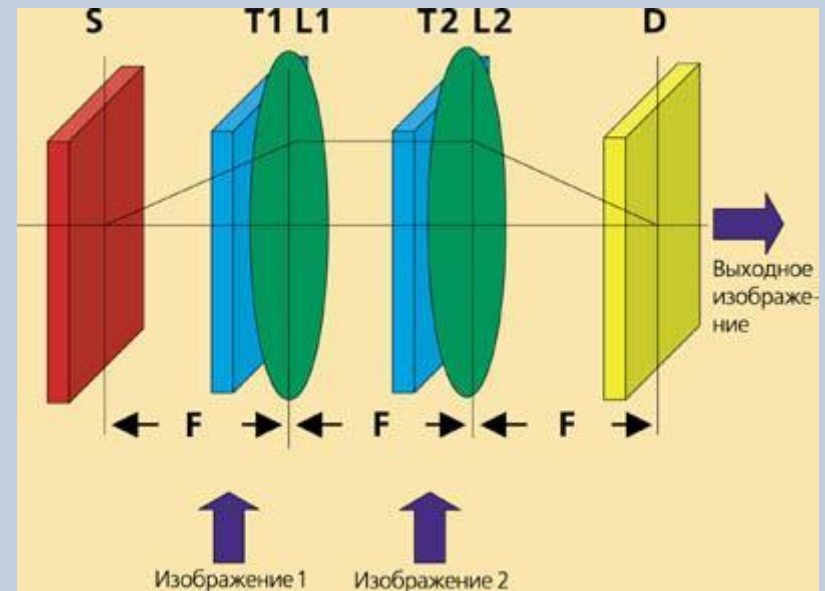
L2 - цилиндрическая линза, образующая которой параллельна столбцам матрицы транспаранта.



# Обработка двумерных структур

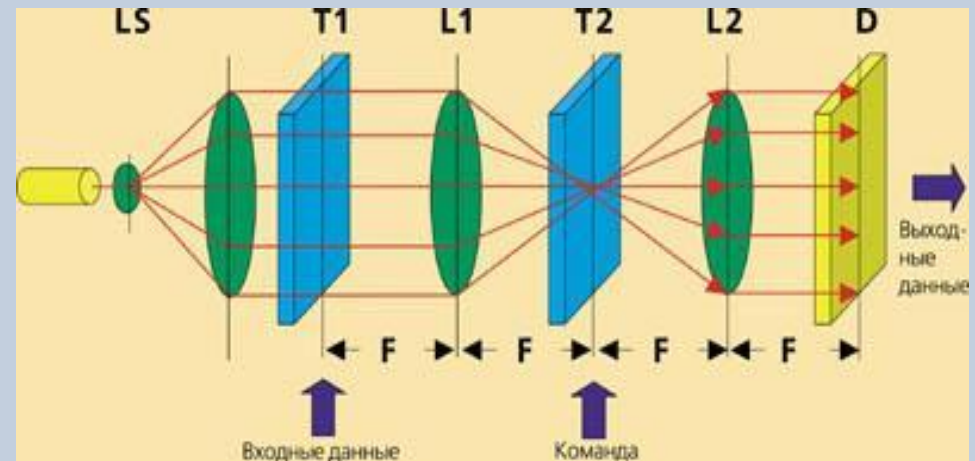
Схема оптического процессора, реализующего операцию свертки двух изображений, которая лежит в основе работы многих устройств ассоциативной памяти и распознавания образов.

Здесь  $S$  - плоский однородный источник света,  
 $L1$  и  $L2$  - сферические линзы,  
 $D$  - матричный фотоприемник,  
 $T1$  и  $T2$  - транспаранты, пропускание которых соответствует двум обрабатываемым изображениям.



# 4F-схема

Принципиально новые возможности дает использование свойств пространственной когерентности излучения. Структура когерентного оптического процессора, так называемая 4F-схема.



Здесь LS - лазерная осветительная система, формирующая широкий пучок когерентного излучения.

T1 и T2 - амплитудно-фазовые транспаранты, модулирующие фазу и амплитуду проходящей световой волны.

L1 и L2 - сферические линзы с фокусным расстоянием F.

Результирующий сигнал считывается матричным фотоприемником D.

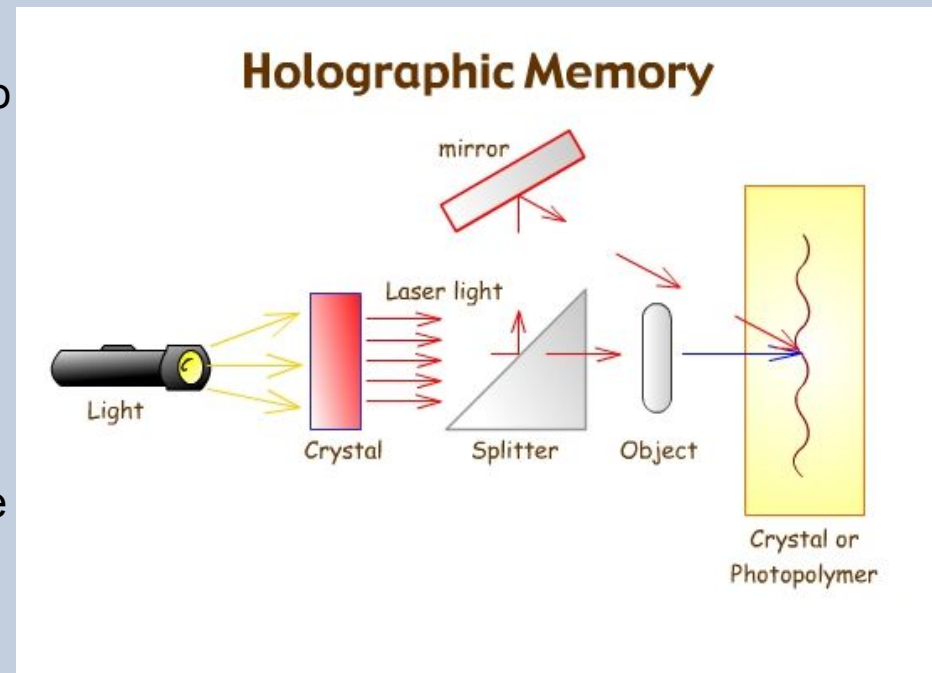
# Голографическая память

Представлять информацию оптический компьютер может с помощью изображений – принимать их из объектива, хранить на кассете со слайдами.

Особый интерес представляют голографические устройства памяти. Такая память обладает рядом достоинств. Голограмма сохраняет информацию не только об интенсивности, но и о фазе световой волны, что в оптике принципиально важно, а с утилитарной точки зрения - позволяет повысить объем записываемой информации.

Кроме того, голограмма сама может использоваться в качестве принципиального узла оптического процессора, выступая одновременно в роли буферной памяти и обрабатывающего элемента.

Информация в таких голограммах записывается путем изменения показателя преломления по всему объему носителя. Обычно для этого используются прозрачные материалы с ярко выраженными нелинейными оптическими характеристиками, например, кристаллы ниобата лития.



# Примерное устройство оптической памяти с объемной голографической средой.

Ввод информации осуществляется с помощью управляемого оптического транспаранта. Адресацией при записи-считывании управляет опорный луч. Считываемая информация фокусируется в плоскости многоэлементного матричного фотоприемника.



# Интерфейсы

Устройства на основе приборов с зарядовой связью воспринимают изображение параллельно по оптическому каналу, а передают последовательно по электронному.

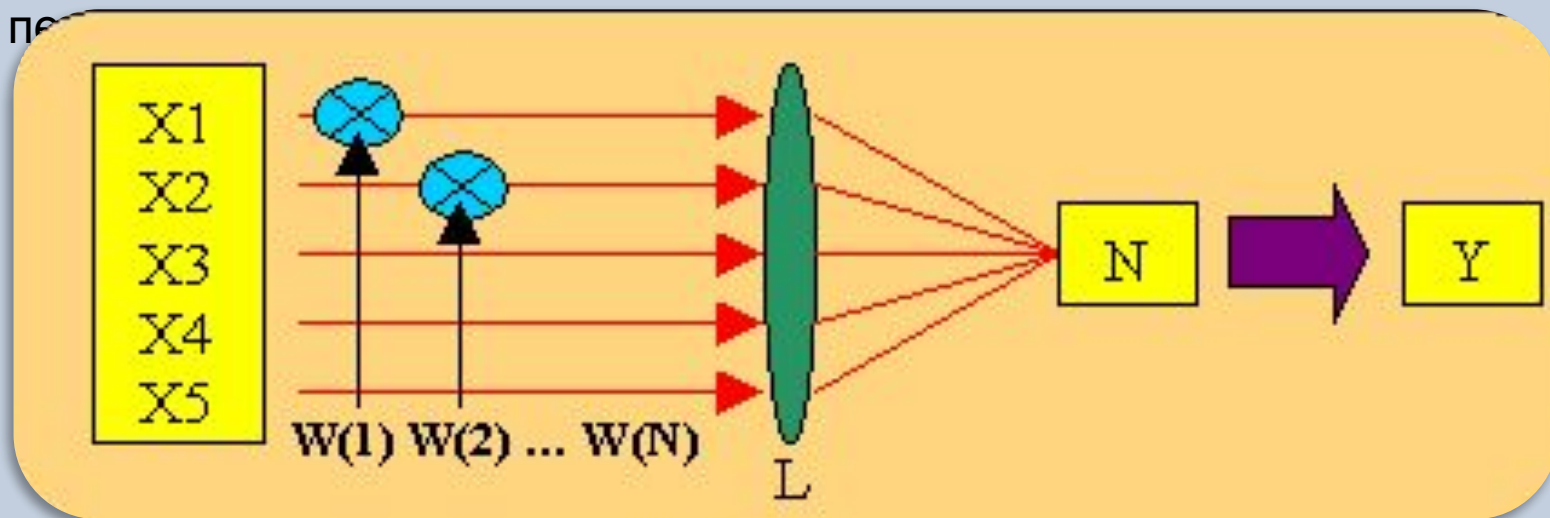
В ряде случаев последовательная перекачка содержимого ПЗС в оперативную память ЭВМ ограничивает быстродействие всего оптоэлектронного вычислительного комплекса.

В настоящее время имеются российские и зарубежные разработки оптоэлектронных интерфейсов, в которых матричный фотоприемник конструктивно совмещен с элементами RAM в оперативной памяти ЭВМ.

Использование оптического канала для организации "междучипового" обмена позволяет на порядок сократить задержку распространения сигнала.

# Оптические нейросети

Если схему **многовходовой функции ИЛИ-НЕ / И-НЕ** снабдить транспарантом, пропускание которого задано значениями весовых коэффициентов  $W(i)$ , получим простейшую модель нейрона –



Эту схему можно рассматривать как слой нейронов. Для этого элементы фотоприемника должны иметь пороговую передаточную характеристику, а транспарант должен задавать таблицу весовых коэффициентов  $W(i)$ .



# Назначение оптических компьютеров

Успехи оптоэлектроники последнего десятилетия позволили достаточно хорошо отработать технологию производства всех основных компонентов оптического компьютера. Уже сейчас его можно было бы эффективно использовать в качестве спутникового устройства к обычной персоналке. Однако массового производства оптических компьютеров широкого гражданского назначения не наблюдается. Причина первая: долгое время работы в этой области были закрытыми. Вторая причина проистекает из первой: никто не занимался маркетинговой проработкой оптического компьютера для народа.

Стоимость оптического компьютера довольно велика. Главные области его использования - военная техника, криминология, защита информации, банковская сфера, а также научные исследования. Одним из ведущих координаторов работ является известное Агентство по передовым оборонным исследовательским проектам - DARPA. То самое Агентство, которое стояло у истоков Bitnet, прототипа Интернета. Исследования и разработки ведутся также в интересах ВВС, ВМС, НАСА, и других.

Решаемые задачи: машинное зрение, искусственный интеллект, распознавание и одновременное сопровождение сотен и тысяч целей, навигация, контроль земной поверхности, связь

Из последних разработок в гражданском секторе отметим оптический процессор для проверки подлинности кредитных карт, паспортов и других важных документов.

Сотрудники Коннектикутского университета и Оптического научного центра Аризонского университета предложили преобразовывать изображение отпечатков пальцев, лица, подписи владельца документа в специальный фазовый профиль, который одновременно записывается в прозрачной голографической среде на карте и в базе данных. Проверить подлинность карты можно лишь с помощью оптически



# Современные разработки

- Уже в 1996 году фирмой IBM была разработана голографическая память, оптическая схема. Для ввода картинок в память использовался управляемый транспарант размером 1024x1024 пикселей, способный работать с частотой 1 тыс. изображений в секунду. Для вывода информации применялась камера ПЗС размером 2048x2048 пикселей.
- Фирмой OptiComp (США) разработан оптоэлектронный 32-битный RISC-процессор, способный обеспечить независимые соединения между 8192 оптическими каналами. Его производительность составляет около  $10^{12}$  двоичных операций в секунду. Работая в режиме поиска текста, процессор может просматривать большие базы данных со скоростью 400 миллионов знаков в секунду.

# Оборудование передачи.

IBM создала оборудование для передачи данных, за что она обязана исследованиям, проведённым её инженерами, в области передачи информации через опто-волокно.

Новый нанолазер выступит генератором импульсов, на которых будут работать все остальные устройства. Также эти нанолазеры могут использоваться в электрических компьютерах, для преобразования электрических сигналов в оптические и передаче их от периферийных устройств к CPU и в обратную сторону, и для передачи информации в обычных оптоволоконных сетях на ещё более высоких скоростях.

Генератор использует углеродные нанотрубки, созданные из пересекающихся гексагональных углеродных колец.

Оптический компьютер теоретически может выполнять вычисления со скоростью света (правда, только скорость света в средах, таких как стекло). Это позволит увеличить производительность компьютеров. Кроме того, световые импульсы, выделяют меньше тепла, что является очевидным «плюсом» перед электрическими схемами.

# Системы хранения

Пересекающиеся гексагональные углеродные кольца исследуются на возможность их применения в обычных электрических транзисторах, ввиду их высокой проводимости, прочности и гибкости.

Компания IBM имеет значительные продвижения в области систем хранения и разрабатывает аналоговый транзистор, который является ключевым конструкционным компонентом процессора.

# Вывод

Узкая специализация оптических компьютеров ориентирована на определенную группу пользователей, требующие высокой производительности, а потому даже в век высоких технологий такие разработки остаются малоизвестными и не популярными в широких кругах.

Не смотря на все достоинства оптических компьютеров, таких как производительность и экономичность, они имеют ряд недостатков. Главным их недостатком является цена.

Оптические компьютеры представляют огромную научную ценность, и являются промежуточным шагом на пути к квантовым компьютерам.