

ЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИЕ КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

СТАНИСЛАВ СТРАУПЕ

СТАРШИЙ НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК ЦЕНТРА КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МГУ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА

Сейчас я хочу познакомить вас с линейно-оптическими вычислениями.

НЕМНОГО О ФОТОНАХ

Фотоны в некотором смысле — идеальные носители квантовой информации. Они практически не взаимодействуют с окружением, не подвержены декогеренции и распространяются со скоростью света. Это делает их весьма привлекательными в задачах, например, квантовой связи.

Однако фотоны можно использовать и для вычисления тоже. Но тут их достоинства становятся их недостатками. Фотоны не взаимодействуют с окружением, но они и не взаимодействуют друг с другом.

Но это проблема может быть решена. Существуют трюки, позволяющие сделать квантовые вычисления полностью с помощью только лишь одиночных фотонов и линейно-оптических устройств, грубо говоря, больших программируемых интерферометров.

ИЗ ЧЕГО СОСТОИТ ЛИНЕЙНЫЙ КВАНТОВЫЙ КОМПЬЮТЕР?

Он состоит из 3-х частей:

- Источники одиночных фотонов
- Большой программируемый линейно-оптический интерферометр
- Детекторы одиночных фотонов

По-настоящему большие и масштабные интерферометры довольно сложно собрать на оптическом столе. Поэтому в последнее время стараются всю эту оптику уместить на интегральный чип.

Здесь мы приходим к тому, что называют интегральной оптикой. Существует несколько технологий ее изготовления. В нашей лаборатории мы пользуемся фемтосекундной лазерной печатью.

ФЕМТОСЕКУНДНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ПЕЧАТЬ

Процесс фемтосекундной лазерной печати позволяет создавать волноводы в практически любых прозрачных диэлектриках. Проще всего это делать в аморфных материалах (стекло, например). Мы используем кварцевое стекло.

В процессе, мощное излучение фемтосекундного лазера фокусируется объективом с большой числовой апертурой в массив стекла. При этом происходит целая гамма нелинейных процессов. В результате, если параметры излучения подобраны правильно, образуется маленькая область с увеличенным показателем преломления.

После этого образец плавно перемещается вдоль фокальной перетяжки, и в массиве возникает структура, обладающая волноводными свойствами.

Для того, чтобы использовать интегральные структуры для преобразования света, в том числе в оптических квантовых вычислениях, они должны быть перестраиваемыми. Мы должны иметь возможность управлять интенсивностью и фазой света в наших интерферометрах. Для этого после того, как в образец записана структура волноводов, мы покрываем его металлической пленкой, и на этой пленке с помощью того же фемтосекундного лазера вырезаем структуру электродов, которые при пропускании через них тока работают как термооптические элементы, нагревая локально наши волноводы и меняя в них показатели преломления. Это позволяет нам программировать наше устройство.

О РАБОТЕ В НАШЕЙ ЛАБОРАТОРИИ

Интегральные чипы, разработанные в нашей лаборатории, служат своего рода квантовыми процессорами. Носителями информации являются одиночные фотоны, которые фокусируются в эти чипы и заводятся в волноводы с помощью обычной пространственной оптики. В качестве источника используется параметрическое рассеяние, а детектируются фотоны счетчиком одиночных фотонов на основе лавинных фотодиодов.

В качестве источника одиночных фотонов в нашей лаборатории используется процесс спонтанного параметрического рассеяния, позволяющий получать коррелированные пары фотонов. Они всегда излучаются парами, поэтому если вы детектируете один из них, то вы точно знаете, что его собрат отправился в вашу оптическую схему, что очень удобно.

Подробнее про нашу установку смотрите видео в лонгриде.

ПОТЕНЦИАЛ ОПТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Прежде всего, это интегральные технологии, что обеспечит повторяемость и технологичность изготавливаемых таким образом устройств.

НЕДОСТАТКИ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ПЕЧАТИ

Например, мы не можем изготавливать структуры очень большого размера, требующиеся для полномасштабных квантовых вычислений. Дело в том, что фемтосекундная лазерная печать как модификация однородного материала не может добиться большого контраста показателей

преломления, поэтому, к сожалению, мы ограничены в размерах наших интегральных интерферометров.

А ЧТО ЖЕ ПЕРСПЕКТИВНЕЕ?

С технологической точки зрения более перспективным представляется создание структур литографическим способом. Например, если работать в видимом диапазоне, то это могут быть структуры из нитрида кремния.

Если же уйти в ближний инфракрасный диапазон, то вообще можно работать в кремнии и использовать всю ту технологию, накопленную в полупроводниковой промышленности за последние 50 лет. Это позволит создавать структуры большого масштаба и большой сложности.

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОПТИКА

Следует заметить, что интегральная оптика сама по себе не ограничивается исключительно квантовыми вычислениями, поэтому технологии, которые разрабатываются на пути к оптическому квантовому компьютеру, точно так же могут быть использованы и для классических оптических вычислений, и для создания быстрых переключателей для Телекома, и во многих других областях, где используется передача информации с помощью света.

Поразительное развитие интегральной оптики за последнее десятилетие позволяет надеяться, что сложность и масштаб используемых интерферометров будут сильно возрастать в ближайшие годы. Если удастся побороть небольшие, но очень важные оставшиеся проблемы, то можно ожидать, что линейно-оптические квантовые вычисления станут одной из самых технологичных областей в этой науке, и безусловно, нужно стремиться к тому, чтобы эту технологию развивать.