

УДК 621.383

## **От фотоники к нанофотонике и наноплазмонике. Хроника развития**

*Горбенко А.А., к.т.н. Кузьмичев А.И.*

В соответствии с решением Ассамблеи ООН, принятым в 2013 году, 2015 год признан международным годом света и световых технологий. Инициатива была введена ООН для повышения осведомлённости граждан мира о важности света в их жизни, для улучшения общественного понимания того, как оптические технологии содействуют устойчивому развитию и обеспечивают решение проблем в области энергетики, образования, сельского хозяйства, связи и здравоохранения и для укрепления международного сотрудничества. Проведение такого мероприятия приурочено к ряду юбилейных дат, относящихся к науке о свете и отмечаемых в 2015 году. В проекте участвует более чем 100 партнёров из 85 стран.

При выборе дат, Ассамблея ООН руководствовалась тем, что 2015 год является юбилейным для ряда важных вех в истории науки о свете.

Проведение мероприятий в рамках Международного года света координируется Международным руководящим комитетом, действующим в сотрудничестве с Международной программой по

фундаментальным наукам ЮНЕСКО и секретариатом, находящимся в Международном центре теоретической физики имени Абдуса Салама в Триесте.

Научными партнерами года света и световых технологий являются Американское физическое общество, Американский институт физики, Европейское физическое общество, Немецкое физическое общество, Общество фотоники института инженеров электротехники и электроники, Международное общество оптики и фотоники, Оптическое общество, Институт физики, Международный центр теоретической физики [1].

В течение 2015 года, ЮНЕСКО совместно с партнерами будет добиваться освоения новых световых технологий, признанных улучшить качество жизни в развитых и развивающихся странах. Эти технологии призваны принести преобразования в 21 веке, подобные тем, которые принесла электроника в 20 веке.

Оптика предшествовала открытию квантования света (фотоэлектрический эффект был объяснен Альбертом Эйнштейном в 1905 г.) и используется для описания свойств света и объяснения

связанных с ним явлений [1]. Оптика – раздел физики, рассматривающий явления, связанные с распространением электромагнитных волн видимого, инфракрасного и ультрафиолетового диапазонов света. Оптика оказалась одним из первых разделов физики, где появилась ограниченность классических представлений о природе. Была установлена двойственная природа света: корпускулярная теория света, берущая начало от Ньютона, и волновая теория света, берущая начало от Гюйгенса [1].

В одной плоскости с оптикой находится и фотоника. Эта наука, по сути, является аналогом электроники, использующей вместо электронов кванты электромагнитного поля – фотоны. То есть, она занимается фотонными технологиями обработки сигналов, которые связаны с существенно меньшими энергопотерями, а значит имеют большую возможность миниатюризации. Фотоника – дисциплина, занимающаяся фундаментальными и прикладными аспектами работы с оптическими сигналами, а также созданием на их базе устройств различного назначения [1].

Фотоника охватывает широкий спектр оптических, электрооптических и оптоэлектронных устройств и их разнообразных применений. Коренные области исследований фотоники включают в себя волоконную и интегральную оптику, в том числе нелинейную оптику,

физику и технологию полупроводниковых соединений, полупроводниковые лазеры, оптоэлектронные устройства, высокоскоростные электронные устройства.

По некоторым данным, новый обобщённый термин «фотоника» постепенно вытесняет термин – «оптика».

Фотоника сродни ещё одному разделу электроники – оптоэлектронике. Оптоэлектроника – раздел электроники, связанный главным образом с изучением эффектов взаимодействия между электромагнитными волнами оптического диапазона и электронами вещества и охватывающий проблемы создания оптоэлектронных приборов, в которых эти эффекты используются для генерации, передачи, обработки, хранения и отображения информации [1].

Известно, что прогресс в микроэлектронике связан с непрерывным повышением рабочих частот и уменьшением размеров микроэлементов; в итоге это привело к появлению субмикронной электроники (см. рис. 1) [2]. Следующая стадия в развитии электроники – исследование и освоение области наноэлектроники, где уже достигли определённого успеха в создании приборов с наноразмерными элементами (<100 нм). Однако наивысшие рабочие частоты в электронике соответствуют гигагерцовому диапазону, что намного ниже

терагерцовых частот в фотонике. С другой стороны, минимальный размер обычных фотонных элементов порядка рабочей длины волны  $\lambda$ , т.е. составляет единицы-десятки-сотни микрон, и даже миллиметры, что приводит к относительно низкому уровню интеграции и миниатюризации оптических схем. Из-за этого затруднено сопряжение электронных и фотонных компонентов в электронно-фотонных системах и замещение электронных элементов их более быстрыми фотонными аналогами. Отсюда неотложной задачей является продвижение фотоники в субволновой наноразмерный диапазон и преодоление дифракционных ограничений. Необходимо найти способы связи наноэлектронных элементов с нанофотонными. Последняя задача является жизненно важной для современной электроники, но её можно решить, если использовать плазмонные эффекты, позволяющие связывать свет с наноэлектронными элементами и реализовать плазмонную нанофотонику (рис. 1) [2].

Использование плазмонных эффектов в наноразмерной области позволило объединить наноэлектронику и нанофотонику и создать то, что сейчас называют наноплазмоникой, либо просто плазмоникой. Наноплазмоника одновременно использует электроны, генерирующие плазмоны и фотоны, взаимодействующие с электронами и, соответственно, с

плазмонами. Благодаря плазмонам мы получаем электромагнитную волну оптического диапазона частот, но с наноразмерной длиной, характерной для рентгеновских лучей [2].

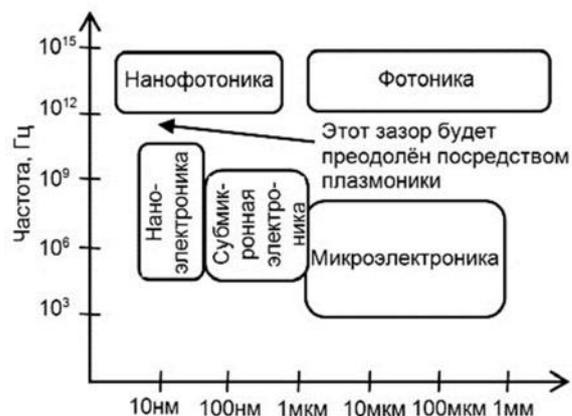


Рис. 1. Диаграмма «Минимальный размер элементов – диапазон рабочих частот» для электроники и фотоники [2]

Что же такое наноплазмоника?

Наноплазмоника, или просто плазмоника – это составляющая часть нанооптики, то есть оптики на нанометровых масштабах [3]. Предметом наноплазмоники являются оптические свойства металлических наноструктур, которые обусловлены колебаниями электронов проводимости относительно кристаллической решетки.

Возникновение интереса к наноплазмонике связано, в первую очередь, с тем, что современные нанотехнологии позволяют синтезировать и изготавливать

наночастицы фактически произвольной формы и состава [3].

Во-вторых, современная диагностическая техника позволяет детально характеризовать свойства отдельных наночастиц и наноструктур [3].

В третьих, развитие вычислительной техники позволяет предсказывать и оптимизировать свойства наночастиц и основанных на них устройствах [3].

Полное понимание развития фотоники невозможно без ключевых понятий, таких как: мазер, лазер и SPASER.

Лазер, или оптический квантовый генератор – это устройство, преобразующее энергию накачки (световую, электрическую, тепловую, химическую и др.) в энергию когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока излучения [1].

Мазер – квантовый генератор, излучающий когерентные электромагнитные волны сантиметрового диапазона (микроволны). Первый созданный мазер использовал трехуровневую схему накачки, по которой рабочее тело излучателя накачивается энергией при помощи другого источника микроволнового излучения. В результате атомы водорода или других веществ переходят из состояния покоя на новый энергетический уровень [1].

После изобретения, астрономами, было установлено, что некоторые из далёких галактик работают как исполинские мазеры. В огромных газовых облаках, размером в миллиарды километров, возникают условия для генерации, а источником накачки служит космическое излучение [1].

Термин «SPASER» представляет собой сокращение от «surface plasmon amplification by stimulated emission of radiation», и является аналогией к названиям других квантовых генераторов – «мазер» и «лазер». Таким образом, можно сконструировать наноустройство, в котором создаётся когерентное поле в пространственной области гораздо меньшей, чем длина волны. При этом надо понимать, что SPASER не является лазером, а есть его аналог, и на его основе можно построить нанолазер [4].

Из всего выше сказанного можно выделить три главные идеи:

Генеральная Ассамблея ООН признала 2015 год международным годом света для повышения осведомлённости граждан мира о важности света в их жизни. В течение года, ЮНЕСКО совместно с партнерами будет добиваться освоения новых световых технологий, признанных улучшить качество жизни в развитых и развивающихся странах.

Оптика предшествовала открытию квантования света и используется для описания свойств света и связанных с ним явлений.

Близко с оптикой связана фотоника. Фотоника, по сути, является аналогом электроники, использующим вместо электронов кванты электромагнитного поля – фотоны.

Использование плазмонных эффектов в наноразмерной области позволило объединить наноэлектронику и нанофотонику и создать то, что сейчас называют наноплазмоникой, либо просто плазмоникой. Благодаря плазмонам мы получаем электромагнитную волну оптического диапазона частот, но с наноразмерной длиной.

### Литература

1. Материалы информационного сайта «Википедия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki>
2. Наноразмерные электронно-фотонные устройства на основе поверхностных плазмонных поляритонов / О.Д. Вольпян, А.И. Кузьмичёв // Электроника и связь. – 2011. – В. 1. – с. 5–12.
3. Климов В.В. Наноплазмоника / В.В. Климов. – М.:Физматлит, 2009. – 482 с.
4. Наноразмерные электронно-фотонные устройства на основе локализованных плазмонов / О.Д. Вольпян, А.И. Кузьмичёв // Электроника и связь. – 2011. – В. 4. – с. 26–31.