

07

## **Излучение когерентных поверхностных волн с участием сфазированных поверхностных плазмонов**

© А.Н. Колеров, Д.В. Онищенко

Московский институт электронной техники (Технический университет)

E-mail: kolerov-miet@yandex.ru

Поступило в Редакцию 4 августа 2011 г.

Проведены эксперименты по получению генерации оптических когерентных поверхностных волн с участием поверхностных плазмонов при использовании высокоразрешающего лазерного сканирующего микроскопа ближнего поля и определены характеристики такого излучения.

В [1] указано на появление нового направления, связанного с изучением и использованием излучения ближнего поля (оптические поверхностные волны) для увеличения плотности записи информации на магнитных носителях. На нанометровых расстояниях между источником излучения (донор) и поверхностью (акцептор) в области ближнего поля формируются так называемые постоянно рождающиеся (ever nascent) поверхностные волны, обусловленные полным отражением света от поверхности мишени при наличии на ней поверхностных плазмонов. Для современных технологий производства интегральных схем (БИС и СБИС) разрабатываются новые методы использования нанолитографии и соответствующая техника, способные обеспечить высокую плотность записи элементов на фотомаске, освещаемую интенсивным световым источником. Для развития современной нанолитографии требуются источники излучения поверхностных волн, обладающие достаточной интенсивностью и малыми длинами волн для снижения дифракционного ограничения. Это же необходимо и для создания магнитооптических элементов используемых при записи информации на магнитных драйверах. Увеличение плотности записи на магнитном носителе требует уменьшения размеров магнитных доменов и уменьшения длины волны светового потока для снижения влияния дифракционных ограничений. Уменьшение размеров доменов для магнитных носителей является

самостоятельной технологической задачей, а создание источника поверхностных волн в оптическом диапазоне позволит оптимизировать условия для осуществления процессов записи и считывания информации на магнитных носителях.

В [2] приведены данные, связанные с получением лазерного излучения за счет сфазированных поверхностных плазмонов. Лазер представлял собой сферическую золотую наночастицу диаметром 44 nm, покрытую стеклообразной пленкой, допированную органическим красителем Oregon Green 488. Облучение независимым световым источником этой системы материалов вызывало колебания поверхностных плазмонов на золотой сфере, а краситель служил „усилителем“, который поддерживал эти колебания. Сфазированные поверхностные плазмоны вызывали генерацию молекул красителя на длине волны 531 nm. Устройство представляло собой самый маленький лазер из всех известных к настоящему времени. К его недостаткам следует отнести тот факт, что он генерирует по всем направлениям (своеобразный точечный источник) и не формирует выделенного пространственного пучка излучения, который наблюдается у привычных лазеров. Когерентность потока излучения авторами не проверялась, они полагались на теоретические выкладки. Судя по приведенным в этой работе данным, полученная генерация представляет собой поток излучения поверхностных волн. Для получения лазерного излучения в качестве накачки использовались поверхностные плазмоны, поэтому источник получил название спазер (Surfaks plasmon amplified stimulated emission of radiation).

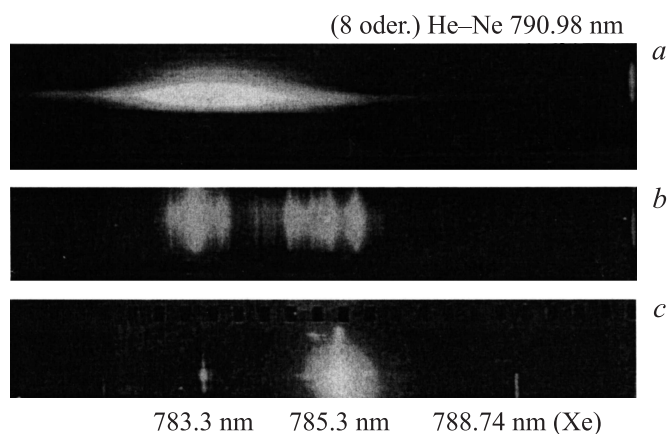
Мы попробовали получить когерентное излучение поверхностных волн в ином техническом исполнении. В предлагаемом сообщении приведены первые поисковые экспериментальные результаты исследований, связанные с созданием источника когерентных оптических поверхностных волн с участием сфазированных поверхностных плазмонов. Это достигалось при облучении светом перестраиваемого лазера диполь-дипольной (ферстеровской) области взаимодействия острие зонда — углеродная мишень высокоразрешающего сканирующего микроскопа ближнего поля [3], в котором зондом служила одностенная углеродная нанотрубка (УНТ), легированная атомами церия [4] и возникающая в результате термического синтеза в плазме угольной дуги (или светозероизонном лазерном факеле). Для облучения ферстеровской области УНТ–мишень использовался свет перестраиваемых лазеров, работающих на кристаллах (ГСГГ:Cr<sup>+3</sup>, BeAl<sub>2</sub>:Cr<sup>3</sup>, KZnF<sub>3</sub>:Cr<sup>3+</sup>,

LiF : F<sub>2</sub><sup>+</sup> и др. [5]), генерация на которых регистрировалась в диапазоне ~ 650–1000 nm.

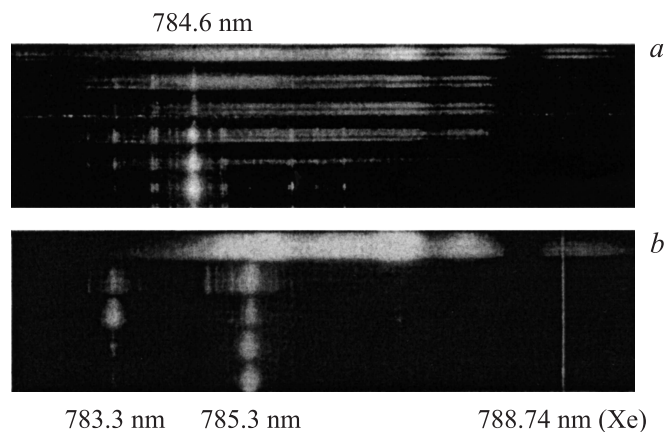
Для появления излучения поверхностных волн из ферстеровской области взаимодействия УНТ–мишень, использовались сфазированные поверхностные плазмоны, образующиеся на поверхности УНТ и облучаемые (возбуждаемые) светом перестраиваемого лазера. Плазмоны локализируются на границе раздела сред: воздух (диэлектрик) — металл (УНТ) (за счет легирования УНТ атомами церия). Они могли также служить каналом перекачки части энергии излучения внешнего лазерного источника, возбуждающего дипольное (флюоресцентное) поле коллективных сфазированных колебаний электронов в зоне УНТ–мишень. Излучение поверхностных волн из ферстеровской области транспортировалось на расстояние ~ 6–10 m (к входной щели полихроматора) в виде квазипараллельного пучка света, характеристики которого исследовались. Изучались спектральные и динамические характеристики потока излучения (после высокоразрешающего полихроматора), фиксируемые фотопленкой (генерационные спектры) и скоростным фотоприемником, подключенным к запоминающему осциллографу (динамика потока излучения). Поток излучения поверхностных волн обладал характеристиками, присущими когерентному свету: монохроматичность, когерентность, направленность и спектральная интенсивность (яркость).

При взаимодействии потока излучения перестраиваемого лазера с ферстеровской областью УНТ–мишень на фотопленке, после полихроматора, регистрировались интенсивные спектральные участки (рис. 1, *c*). Их возникновение совпадало (по регистрируемому спектральному положению) с областями, в которых фиксировалось поглощение плазмы (рис. 1, *b*), используемой в экспериментах для осуществления термического синтеза УНТ.

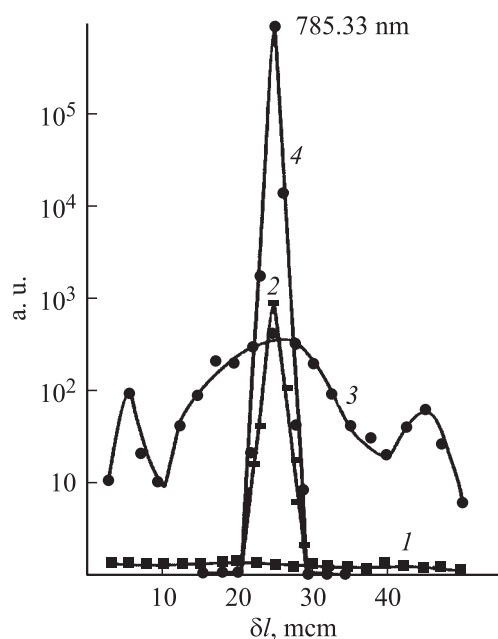
Влияние атомов церия (легирующие добавки в УНТ) видно из сравнения регистрируемых спектров (рис. 2) в зависимости от используемого углерода для светозероэрозийной мишени (или электродов для электрической дуги). Наблюдается изменение спектрального положения генерационного излучения поверхностных волн в зависимости от использованного материала мишени и острия УНТ, легированных атомами церия, т. е. регистрируется спектральная перестройка генерационных спектральных участков поверхностных волн в зависимости от использованных материалов.



**Рис. 1.** Преобразование лазерного спектра излучения (*a*) в абсорбционный спектр плазмы (*b*) и генерацию излучения оптических поверхностных волн (*c*).



**Рис. 2.** Взаимодействие перестраиваемого лазерного света с плазмой светорезионного факела от чисто углеродной мишени (*a*) и углеродной мишени, легированной церием (*b*).



**Рис. 3.** Влияние изменения расстояния между острием зонда и мишенью на относительную интенсивность потока излучения поверхностных волн: *1* — для внешнего лазерного излучения, *2* — расстояние меньше ферстеровской области, *4* — оптимальное расстояние между острием зонда и мишенью;  $\delta l$  — смещение фотоприемника с приемной апертурой  $\sim 1$  мм относительно выходного окна полихроматора для регистрации сигнала спектральной интенсивности поверхностной волны.

На рис. 2 представлены регистрируемые интенсивные участки („временные срезы“) генерационных спектров поверхностных волн, возбуждаемых в ферстеровской области (в зависимости от расстояния мишень–зонд) и возникающих при ее облучении светом внешнего перестраиваемого лазера. Изменение интенсивности регистрируемого излучения поверхностных волн в зависимости от условий проведения эксперимента показано на рис. 3 и связано с пространственным положением острия зонда (УНТ) относительно поверхности углеродной

мишени. Изменение интенсивности излучения поверхностных волн (и его спектрального положения) происходит около острия УНТ из-за резонансного возбуждения собственных плазменных колебаний [6] в области ферстеровского взаимодействия УНТ–мишень и изменения резонансных условий между поверхностными плазмонами и потоком перестраиваемого лазерного излучения (т.е. зависит от спектральной частоты лазерного перестраиваемого источника и расстояния между УНТ и мишенью).

Регистрируемые спектры излучения и изменение интенсивности генерационных участков позволяют предположить, что зона ферстеровского взаимодействия (острие УНТ–углеродная мишень) может служить областью зарождения (источник) когерентных оптических поверхностных волн. Это может происходить под влиянием сфазированных колебаний электронов (поверхностных плазмонов), локализованных на поверхности УНТ (легированной атомами церия) и в паре с диэлектриком (воздух) приводить к появлению излучения когерентных оптических поверхностных волн (за счет изменения резонансных условий). Причем интенсивность когерентного излучения может (изменяться) усиливаться (за счет перекачки части световой энергии из потока внешнего лазерного источника) в зависимости от расстояния между УНТ и углеродной мишенью. Для исследования влияния частотного спектра (изменение условий спектрального резонанса) внешнего, перестраиваемого источника эксперименты проводились с разными перестраиваемыми лазерами [5].

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать следующие выводы:

— впервые наблюдалось когерентное излучение оптических поверхностных волн из ферстеровской области УНТ–мишень при ее облучении светом перестраиваемых лазеров,

— при использовании перестраиваемых лазеров, излучающих в интервале  $\lambda \sim 700\text{--}900\text{ nm}$  и на расстоянии в десятки нанометров для зоны (УНТ–мишень), условия возникновения излучения поверхностных волн оказались для проведенного эксперимента оптимальными.

В заключение хочется выразить глубокую благодарность профессору В.Н. Дацко за проявленный интерес к проведенным исследованиям и стимулирующие дискуссии.

## Список литературы

- [1] *Кобаяси Н.* Введение в нанотехнологию. М.: БИНОМ, Лаборатория знаний 2008. 133 с.
- [2] *Соросовский журнал „В мире науки“.* 2007. № 8. С. 6.
- [3] *Колеров А.Н.* // Письма в ЖТФ. 2011. Т. 37. В. 6. С. 33.
- [4] *Патент РФ № 2011107558/28(01075)* (Авторы Колеров А.Н. и др.).
- [5] *Колеров А.Н.* Высокочувствительные лазерные методы измерений параметров веществ, находящихся в различных агрегатных состояниях. Автореф. дис. д.ф.-м.н М.: ИОФ РАН, 2000.
- [6] *Колесников А.А., Лозовик Ю.Е.* // Электронный научный журнал „Исследовано в России“. 2010. С. 611.