

## ПОВЕРХНОСТНЫЕ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОНЫ НА ГРАНИЦЕ «МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК» В СТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ НИОБАТА ЛИТИЯ

*Абрамова А.В., Безпалый А.Д., Тимофеев А.Н.*

Оптические свойства периодических многослойных структур активно исследуются в течение более 30 лет. Интерес к исследованию структур, в которых возможно возбуждение поверхностных плазмон-поляритонов на металлических поверхностях, связан с многочисленными применениями [1 - 3]. При этом значительную роль играют эффекты локального усиления полей. Для перфорированных тонких металлических плёнок с субволновыми периодическими отверстиями было обнаружено аномально большое прохождение света. Благодаря периодическому расположению отверстий, на обеих поверхностях плёнки возбуждаются поверхностные плазмон-поляритоны и влияют на прохождение света через структуру. В зависимости от упорядоченности отверстий они также могут, как значительно усиливать прохождение света, так и ослаблять его. Кроме того, специально спроектированные структуры могут приводить к крайне высокому коэффициенту поглощения. Данные свойства дают широкие возможности для создания как пассивных элементов управления светом (например, светофильтров), так и активных составляющих схем, сенсоров и т.п.

Помимо исследований фундаментальных свойств, проводятся исследования с целью создания компактных и высокоэффективных оптических устройств. В результате показано, что многослойная металл-диэлектрическая наноплёнка может давать изображение с высоким разрешением и малой дифракционной расходимостью. Показана возможность создания эффективного электрооптического прибора в том случае, когда в состав структуры входит нелинейный материал. Кроме того, использование нелинейного материала позволяет получить более низкий порог бистабильности для данной многослойной структуры.

Оптические элементы на основе плазмонных наноструктур позволят значительно уменьшить размер интегральных схем, а также, более эффективно использовать оптические материалы, проявляющие нелинейные свойства. В последние годы было предложено несколько схем плазмонных модуляторов, основанных на трёхслойной гетероструктуре металл-диэлектрик-металл. Эффективность таких модуляторов сопоставима с эффективностью широко применяемых кремниевых модуляторов.

Одним из перспективных материалов оптики является ниобат лития и цель данной работы заключается в анализе возможной реализации на его основе разного рода элементов фотоники и оптоэлектроники.

**Основные свойства поверхностных плазмон-поляритонов.** Основным объектом плазмоники являются поверхностные плазмон-поляритоны – связанные колебания электромагнитной природы и плотности электронного газа.

Поверхностные плазмон-поляритоны распространяются вдоль границы раздела между металлом и диэлектриком (рис.1, рис.2). Металл в этой системе необходим для существования электронной плазмы. А диэлектрик - для того, чтобы связать электронную плазму с электромагнитным полем, то есть с объёмной световой волной.



Рисунок 1 – Распространение плазмон-поляритонной волны в волноводной структуре (конфигурация Отто, 1968 г. [2])

В результате вдоль границы между металлом и диэлектриком может распространяться поверхностная плазмон-поляритонная волна. Её особенность заключается в очень сильной локализации поля вблизи поверхности. Это поле быстро затухает при удалении от поверхности на несколько сотен нанометров, т.е. оптическое излучение, взаимодействующее с электронным газом, оказывается зажатое в слое с толщиной в несколько сотен нанометров. В металл поле тоже проникает, но глубина проникновения существенно меньше, всего несколько десятком нанометров.



Рисунок 2 – Распространение плазмон-поляритонной волны в волноводной структуре (конфигурация Кречманна, 1971 г. [2])

В результате получается, что оптическое поле заперто в области с размерами, гораздо меньшими, чем длина волны. Без использования плазмонных систем достичь такого результата практически невозможно, т.к. существуют ограничения, связанные с дифракцией света.

Локализация в вертикальном направлении возникает из-за сцепленности электромагнитного поля с электронной плазмой, в то время как локализация в поперечном направлении может быть достигнута при использовании специальных наноструктур. Если создать на границе раздела полосковую наноструктуру, то можно ограничить свет и во втором направлении. Примерно такой наноструктурой является нанопровод, который располагается в непосредственной близости от границы между металлом и диэлектриком.

В настоящее время существует проблема связи электронных устройств для достижения высокой скорости обработки информации, с оптическими компонентами. Эта проблема может быть разрешена, если использовать плазмонные структуры, в которых свет ограничен значительно меньшим объемом во всех направлениях. Такой способ дает возможность наиболее эффективного соединения электронных устройств с оптикой.

**Области применения плазмон-поляритонов в наноструктурах на основе ниобата лития.** Одним из самых распространенных применений плазмоники в структурах  $LiNbO_3$  является использование плазмонных систем для связи одного устройства с другим. Хотя большие расстояния в подобном случае не требуются, тем не менее, они будут насчитывать несколько десятков микрон. Уже на этих расстояниях плазмонная волна может затухнуть, если она затухнет, то это создает проблему для передачи и обработки информации.

Начиная с 2010 года и после, проводятся активные исследования по разработке наноструктур, в которых длина распространения плазмонных волн существенно больше. В таком случае можно идти разными путями: с одной стороны можно использовать дополнительные специальные наноструктуры, которые позволяют оставить локализацию света на нужном уровне, т.е. свет ограничивается несколькими сотнями нанометров, но в то же время позволяют достичь гораздо большей длины распространения.

Плазмонные наноструктуры на основе ниобата лития можно использовать не только для передачи информации, они также эффективны для использования в био- и хемосенсорах, т.е. в устройствах, которые позволяют измерять концентрацию веществ при очень малых ее величинах, а также детектировать наличие вещества вплоть до супермалых концентраций на уровне одной или нескольких молекул. Поэтому широкое распространение получила область плазмонной сенсорики. В ней плазмонные структуры используются для того, чтобы создавать резонанс в спектре отражений и пропускания от такой структуры. Оказывается, что положение такого резонанса и его величина, т.е. величина провала в спектре отражения, представляющем собой характерную кривую с ярко выраженным провалом, зависят от того, какое вещество окружает плазмонную структуру. Следовательно, даже незначительные изменения в свойствах подобного вещества позволяют почувствовать эту зависимость: если сравнить резонанс спектра отражения вначале и после того как в системе произошли некоторые изменения, то по итогам изменений можно дать ответы на такие вопросы как: «Что произошло в исследуемой среде?» и «Каким образом изменилась концентрация вещества?»

Кроме плазмонных сенсоров, плазмонные наноструктуры используются в фотовольтаических элементах, позволяющих эффективно преобразовывать солнечное излучение в электричество.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Jing Chen, Yudng Li, Wenqiang Lu, Jiwei Qi, Guoxin Cui, Hongbing Liu, Jingjun Xu and Qian Sun "Observation of surface-plasmon-polariton transmission through a silver film sputtered on a photorefractive substrate", 2007: JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, 2007, 3 с.
2. Стефан А. Майер" Плазмоника. Теория и приложения", 2011 М.: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2011. - 278 с.
3. Либенсон М.Н. " Поверхностные электромагнитные волны оптического диапазона", 1996: Соросовский образовательный журнал №10,- 6 с.