

УДК 535.394

ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА ПЛАЗМОН-ИНДУЦИРОВАННОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ В ХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ СЕНСОРАХ

Гущин М.Г. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – д.ф.-м.н., с.н.с. Вартамян Т.А.
(Университет ИТМО)

При отражении света от многослойной структуры, состоящей из металла и двух диэлектриков с различными показателями преломления, при угле падения большем, чем угол полного внутреннего отражения, возникает эффект плазмон-индуцированной прозрачности, состоящий в том, что на фоне минимума отражения, обусловленного нарушенным полным внутренним отражением, возникает узкий пик, в котором полное внутренне отражение оказывается восстановленным. Положение пика зависит от показателя преломления среды, расположенной за многослойной структурой.

Введение. Сенсорные устройства на поверхностном плазмонном резонансе достаточно широко изучены. На рынке существует ряд приборов, основанных на этом принципе. Их чувствительность может колебаться в зависимости от материала сенсорной структуры и изучаемого вещества. Дальнейшее увеличение чувствительности связано с поиском новых теоретических моделей, доступных к реализации. Одним из направлений является использование многослойных диэлектрических покрытий, нанесенных поверх металлического слоя, что приводит к восстановлению полного внутреннего отражения при определённом значении угла падения свет.

Основная часть. Было обнаружено, что если на металлическую плёнку, на поверхности которой возможно возбуждение поверхностного плазмон-поляритона, напылить два диэлектрика с кардинально различными показателями преломления, то в провале коэффициента отражения, обусловленным нарушением полного внутреннего отражения, может появиться область с восстановленным полным внутренним отражением. Такой эффект называется плазмон-индуцированной прозрачностью. Он возникает в результате взаимодействия двух резонансов: плазмон-поляритона металлической плёнки и основной моды несимметричного плоского волновода, образованного двумя слоями диэлектриков с низким и высоким значением показателя преломления, сформированными на металлической плёнке.

На диапазон углов, при которых возникает восстановление полного внутреннего отражения, влияет толщина первого диэлектрика, который служит разделительным слоем между металлом и диэлектриком с высоким значением показателя преломления.

При помощи формул Френеля и матричного метода была составлена программа для расчёта коэффициента отражения от многослойной структуры в зависимости от длины волны или угла падения света. В расчётах принято, что свет падает из бесконечной среды с показателем преломления 1.5, а за многослойной структурой находится бесконечная среда, которую в дальнейшем будем называть аналитом.

Для многослойной структуры из золота, полимера с показателем преломления 1.34 и оксида цинка теоретически были рассчитаны толщины, необходимые для возникновения эффекта плазмон-индуцированной прозрачности. В качестве аналита была использована среда с показателем преломления равным 1. В теоретических расчётах была построена зависимость коэффициента отражения от угла падения света. При определенном угле падения света, превышающем критический угол полного внутреннего отражения, был обнаружен узкий пик, обусловленный эффектом плазмон-индуцированной прозрачности. При изменении показателя преломления аналита угол падения света, при котором возникает узкий пик, изменяется. Благодаря чрезвычайной узости пика в угловой зависимости коэффициента отражения, его

легко зарегистрировать даже в тех случаях, когда изменение показателя преломления аналита достаточно мало.

Выводы. Изменение углового положения пика восстановленного полного внутреннего отражения в зависимости от концентрации аналита, ведущей к изменению показателя преломления среды, контактирующей с поверхностью волновода, может быть использовано в сенсорных устройствах. При использовании эффекта плазмон-индуцированной прозрачности угловая ширина пика в коэффициенте отражения чрезвычайно мала, что позволяет добиться сверхчувствительности сенсора предлагаемой конструкции к изменению концентрации аналита.

По предложенной модели был составлен концепт устройства, обеспечивающего возможность точного определения угла, при котором возникает восстановление полного внутреннего отражения в зависимости от изучаемого аналита. Таким образом, сенсор на основе плазмон-индуцированной прозрачности позволяет измерять сверхмалые изменения концентрации изучаемого аналита, что позволяет использовать его в химических и биологических сенсорах.