

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ВЫНУЖДЕННОГО КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

А.Н.Сударкин, К.Н.Ушаков

Впервые экспериментально обнаружено вынужденное комбинационное рассеяние поверхностных электромагнитных волн. Приводится качественное сравнение экспериментальных результатов с теорией. Показано существенное отличие ВКР ПЭВ от других нелинейных взаимодействий с участием поверхностных волн.

В последние годы экспериментально исследован ряд нелинейных оптических эффектов с участием поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ)<sup>1, 2</sup>. Важно отметить, что указанные эффекты не являются пороговыми, и возможность их обнаружения ограничена лишь чувствительностью системы регистрации и наличием линейного шума. Обнаружение пороговых нелинейных эффектов, к которым относятся вынужденные рассеяния (ВР), затруднено по следующим причинам. Вследствие малости длины пробега  $L_S$  сигнальной ПЭВ для превышения порога ВР необходимо обеспечить достаточно высокое значение интенсивности лазерного пучка накачки. Этому, однако, препятствует низкий порог разрушения поверхности металла. В то же время вынужденные рассеяния имеют ряд свойств, резко отличающих их от других нелинейных взаимодействий с участием ПЭВ. Единственным из всех типов ВР поверхностных волн, изучаемых в настоящее время, является вынужденное температурное рассеяние<sup>3, 4</sup>. Настоящая работа посвящена обнаружению и исследованию вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) поверхностных электромагнитных волн.

В эксперименте сигнальная ПЭВ на частоте  $\omega_S$  нелинейно возбуждалась на границе серебряной пленки с бензолом. Возбуждение ПЭВ на лазерной частоте  $\omega_L$  производилось объемным излучением при помощи метода нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО)<sup>1, 2</sup>. При этом *p*-поляризованное излучение одномодового (по поперечным индексам) неодимового лазера ( $\lambda_L = 1,06$  мкм) падало под углом  $\theta_L$  на другую границу пленки со стороны прямоугольной стеклянной ( $n = 1,775$ ) призмы (рис. 1). Сигнальная ПЭВ частично переизлучалась в объемную волну ( $\lambda_S = 1,185$  мкм), которая регистрировалась в эксперименте (см. рис. 1). Обнаружению ВКР способствовала малость времени выхода на стационар, которая составляет всего несколько десятков пикосекунд. Это позволило при длительности импульса около 10 пс превысить порог ВКР при плотности энергии, не приводящей к разрушению пленки.

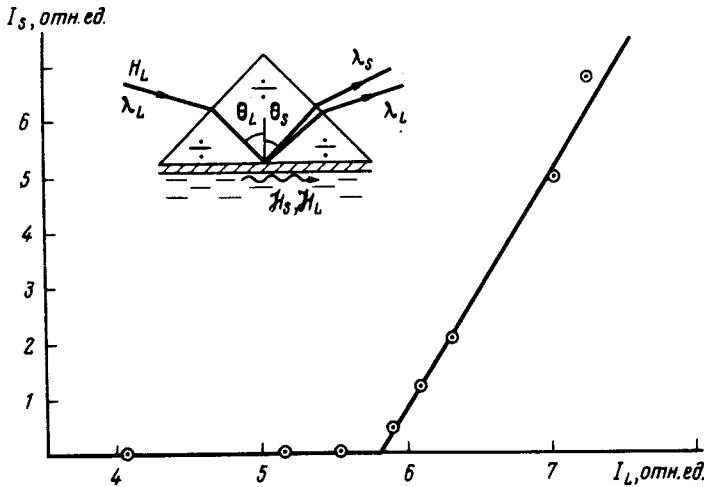
Амплитуда магнитного поля  $\mathcal{H}_L$  на границе серебро–бензол в отсутствие нелинейности пропорциональна амплитуде падающей на пленку волны  $H_L$ :  $\mathcal{H}_L = \tau_L H_L$ , где  $\tau_L$  – зависит от диэлектрических проницаемостей сред на частоте  $\omega_L$ , проекции волнового вектора на поверхность  $k_L = \frac{\omega}{c} n \sin \theta_L$  и максимальна по абсолютной величине при  $k_L = \mathcal{K}_L$ , где  $\mathcal{K}_L$  – длина волнового вектора ПЭВ. Как показывает теоретическое рассмотрение эффекта, в установившемся по времени режиме  $\mathcal{H}_L$  и амплитуда сигнальной волны на границе серебро–бензол  $\mathcal{H}_S$  подчиняются следующим уравнениям:

$$\frac{1}{k_S''} \frac{d\mathcal{H}_S}{dx} + (1 - G_S |\mathcal{H}_L|^2) \mathcal{H}_S = 0 \quad (1)$$

$$\frac{1}{k_L''} \frac{d\mathcal{H}_L}{dx} + (1 + G_L |\mathcal{H}_S|^2) \mathcal{H}_L = \tau_L H_L, \quad (2)$$

где  $k_{S,L}'' = 1/2L_{S,L}$ ;  $G_S(\omega_S, \omega_L, k_L, k_S)$  — положительная действительная величина пропорциональная нелинейной восприимчивости бензола (векторы  $k_L, k_S$  параллельны оси  $x$ ).

Анализ (1, 2) показывает, что при описании ВКР необходимо учитывать перенос электромагнитной энергии вдоль поверхности, который практически не проявляет себя в других нелинейных взаимодействиях. Действительно, сигнал устанавливается в последнем случае на расстоянии  $L_S$ , которое не превышает несколько десятков микрон, что обычно много меньше размера лазерного пятна. Это позволяет считать амплитуду сигнала и эффективность взаимодействия постоянной по пятну. Помимо этого, обычно, пренебрегают обратным влиянием сигнала на амплитуду волны накачки, считая по прежнему выполненным соотношение  $\mathcal{H}_L = \tau_L H_L$ .

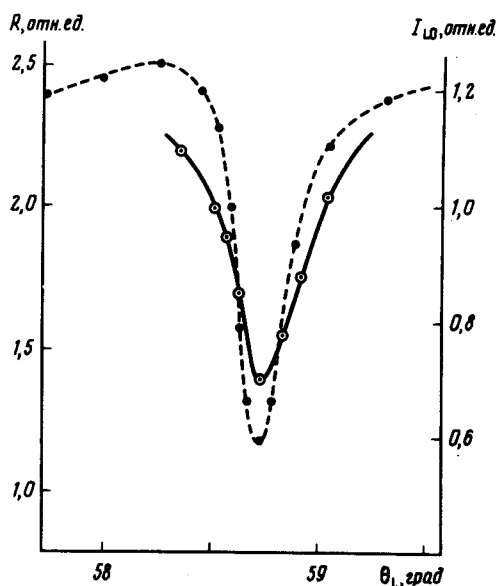


Свойства ВКР имеют иной характер. Рассмотрим лазерное пятно, ограниченное в пространстве  $0 < x < D$ . Пусть на "вход" среды  $x = 0$  подается спонтанная затравка с амплитудой  $\mathcal{H}_{S0}$ . Затравка будет экспоненциально нарастать с координатой  $x$  при интенсивности лазерного пучка,  $I_L = \frac{1}{2} |H_L|^2$ , превышающей пороговую  $I_{L0} = (nG_S |\tau_L|^2)^{-1}$ . Если превышение над порогом невелико, длина установления может составлять сотни микрон и быть сравнимой с размером пятна  $D$ . При этом эффективность ВКР зависит от  $D$ . При больших превышениях над порогом и больших  $D$  установление сигнала, который не может нарастать беспредельно, все же происходит, однако обусловлено это уменьшением  $|\mathcal{H}_L|^2$ . Этот эффект аналогичен истощению волн накачки при ВР объемных волн. Совместное решение (1, 2) позволяет найти установившиеся значения для амплитуд:

$$\mathcal{H}_S^y = \left( \frac{\tau_L H_L G_S^{1/2} - 1}{G_L} \right)^{1/2} e^{i\psi}; \quad \mathcal{H}_L^y = G_S^{-1/2} (\neq \tau_L H_L).$$

Экспериментальные результаты показали, что ВКР ПЭВ действительно имеет ярко выраженный пороговый характер. При превышении пороговой интенсивности на несколько процентов сигнал возрастал на три порядка. На рис. 1 приведена экспериментально полученная зависимость интенсивности сигнала  $I_S$  от  $I_L$  при фиксированной длительности импульса. Можно видеть, что  $I_S$  пропорциональна  $(I_L - I_{L0})$ , что соответствует теории. На рис. 2 приведена угловая зависимость порога  $I_{L0}$ , полученная при фиксированной длительности импульса (сплошная линия). На этом же рисунке для сравнения нанесена угловая зависимость линейного коэффициента отражения  $R$  лазерного пучка от пленки при малых  $I_L$  (штрих. линия). Вблизи оптимального угла из теории следует пропорциональность  $I_{L0} \sim (1/|\tau_L|^2) \sim R$ . Некоторое отличие формы кривых на рис. 2 обусловлено, по-видимому, увеличением мнимой части диэлектрической проницаемости серебра при нагревании пленки, и имеющей место слабой угловой зависимости  $G_S$ .

Отметим, что в отличие от других нелинейных взаимодействий, в случае ВКР как длина так и направление волнового вектора  $k_S$  не навязан волнами накачки, а выбирается системой самопроизвольно. Величина  $G_S$  максимальна при  $k_S = \mathcal{K}_S$  и  $\varphi = 0$ , где  $\varphi$  — угол между векторами  $k_S$  и  $k_L$ . Как показал эксперимент при больших размерах пучка сигнал действительно распространялся в плоскости падения ( $\varphi = 0$ ), а угол между направлением его распространения и нормалью к поверхности  $\theta_S$  (рис. 1) удовлетворял выражению  $\theta_S = \arcsin \frac{c}{\omega n} \mathcal{K}_S$ . Если лазерное пятно имело форму узкой длинной полоски, ориентированной под углом  $\varphi_0$  относительно  $k_L$ , угол  $\varphi$  между  $k_S$  и  $k_L$  составлял такую же величину:  $\varphi = \varphi_0$ . Это обусловлено накопительным по пространству характером процесса. Несмотря на несколько меньшее значение  $G_S$  сигнальная волна в этом направлении может беспрепятственно усиливаться по пространству.



В настоящее время планируется более детальное исследование обнаруженного эффекта. При этом может быть получена энергетическая зависимость  $I_S$  вблизи порога, выявлена роль антистоксовых компонент ВКР, изучено влияние на эффект длительности лазерного импульса  $\tau_{и}$ . Отметим, что при наших длительностях импульса наблюдается слабая зависимость порога от  $\tau_{и}$ , что не позволяет считать процесс полностью установившимся во времени. Мы надеемся также провести количественное сопоставление экспериментальных и теоретических результатов.

#### Литература

1. Поверхностные поляритоны. Под ред. В.М.Аграновича, Д.Л.Миллса. М.: Наука, 1985.
2. Пилипецкий Н.Ф., Сударкин А.Н., Ушаков К.Н. ЖЭТФ, 1987, 93, 118.
3. Голубцов А.А., Пилипецкий Н.Ф., Сударкин А.Н., Чудинов А.Н. Письма в ЖЭТФ, 1987. 45, 208.
4. Ахмапов С.А., Емельянов В.И., Коротеев Н.И., Семиногов В.Н. УФН, 1985, 147, 675.