

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РАССЕЯНИЯ В ПОВЕРХНОСТНУЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ ВОЛНУ

*А.А.Голубцов, Н.Ф.Пилипецкий, А.Н.Сударкин, А.Н.Чудинов*

Экспериментально исследовано ВТР в ПЭВ. Показано, что рассеяние происходит на решетке диэлектрической проницаемости серебра.

К настоящему времени экспериментально исследован ряд нелинейных оптических эффектов с участием поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ)<sup>1-3</sup>. Однако, вследствие сильного поглощения ПЭВ, разрушение поверхности наступает при сравнительно низких интенсивностях ПЭВ. Это затрудняет экспериментальное изучение нелинейных оптических эффектов, в частности некоторых видов вынужденных рассеяний, имеющих пороговый характер. Ранее показано, что помимо хорошо изученного вынужденного температурного рассеяния, обусловленного поглощением (ВТР-II), из объемной волны в объемную<sup>4,5</sup> возможно также ВТР объемной волны в ПЭВ<sup>6</sup>. Было рассмотрено рассеяние на капиллярных волнах, генерируемых на поверхности жидкого металла или полупроводника. В данном эксперименте использовалась металлическая пленка толщиной несколько сотен ангстрем, что не позволяет при ее плавлении получить слой жидкости достаточной глубины и за эффект несет ответственность иной механизм.

Одномодовое излучение неодимового лазера с длительностью импульса 50 нс по полувысоте, поляризованное в плоскости падения, падало на серебряную пленку, напыленную на диагональную грань прямоугольной стеклянной призмы, со стороны воздуха. Угол падения  $\theta$  варьировался при проведении эксперимента. Как правило в каждой вспышке лазера обнаружился новый участок пленки. Если на границе серебро – воздух возбуждалась ПЭВ, она частично переизлучалась в объем стекла. Проходя через боковую грань призмы эта объемная волна попадала на фотоприемник и могла быть зарегистрирована. Таким образом появление сигнала на фотоприемнике свидетельствовало о возбуждении ПЭВ на границе серебра. Для того, чтобы убедиться в наличии нелинейного рассеяния определялась энергия указанной объемной волны  $E_S$  при различных энергиях исходного лазерного пучка  $E_L$  и углах падения  $\theta$ . На рис. 1 приведены зависимости отношения  $E_S/E_L$  (за вычетом линейного шума) от  $E_L$  при  $\theta = 55^\circ$  (треугольники) и  $\theta = 68^\circ$  (кружки). Единице на оси абсцисс соответствует пороговая энергия  $E_{пор}$  лазерного разрушения пленки при данном угле падения. Под порогом разрушения мы понимали минимальное значение энергии в пучке, после воздействия которого на пленке оставалось видимое в микроскоп повреждение. Регистрируемый пучок является направленным и распространяется вдоль луча, лежащего в плоскости падения исходного пучка и составляющего с нормалью к поверхности угол  $\psi$ . Поскольку величина  $\psi$  согласуется с известным дисперсионным соотношением для ПЭВ<sup>1</sup>, т.е. выполняется равенство  $n \sin \psi \cong [\epsilon_1 / (\epsilon_1 + 1)]^{1/2}$ , можно заключить, что источником регистрируемого сигнала является ПЭВ. Здесь  $n$  – показатель преломления стекла,  $\epsilon_1 = \text{Re} \epsilon$  – действительная часть диэлектрической проницаемости серебра на частоте лазерного излучения. Для вычисления  $\epsilon$  и толщины пленки  $d$  использовалась угловая зависи-

мость коэффициента отражения, полученная при падении лазерного пучка со стороны стекла, вид которой сильно зависит от определяемых величин <sup>1-3</sup>.

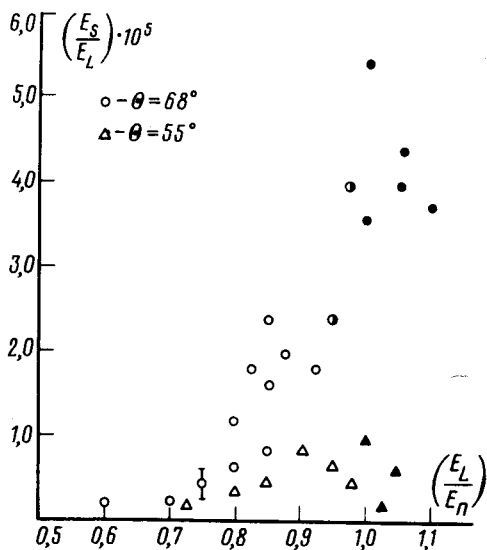


Рис. 1

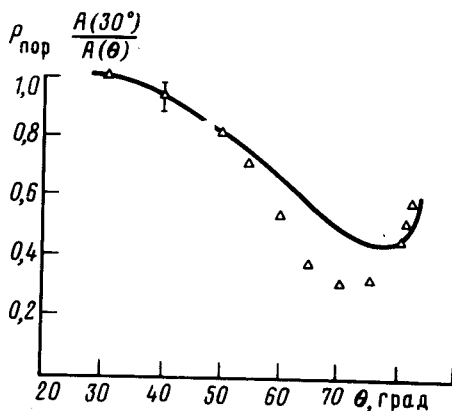


Рис. 2

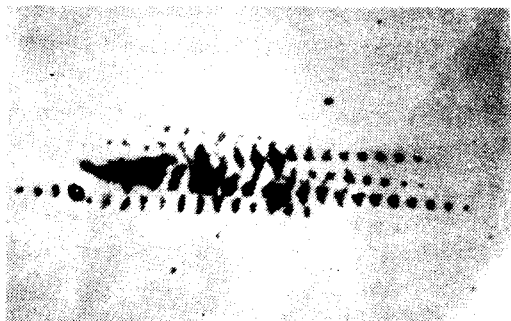


Рис. 3

При проведении эксперимента было выяснено, что эффективность нелинейного рассеяния сильно зависит от угла падения и максимальна при  $\theta = 68 \div 70^\circ$ . Его не удалось наблюдать вовсе вне области  $50^\circ < \theta < 75^\circ$ . Можно видеть, что при  $\theta = 68^\circ$  регистрируемый сигнал сильно возрастает с появлением разрушения (темные метки на рис. 1), в несколько раз превышая при этом линейный шум. В отсутствие разрушения решетка, отвечающая за появление направленного нелинейного рассеяния, проверялась на обратимость. При этом энергия лазерного пучка ослаблялась до значения, заведомо не приводящего к нелинейному рассеянию, и производилась повторная вспышка лазера, воздействующая на тот же участок пленки. Как правило энергия сигнала при этом снижалась до уровня линейного шума, что свидетельствовало об обратимости решетки. Однако при энергиях  $E_L \geq 0,95E_{\text{пор}}$  это не происходило (полузакрашенные метки на рис. 1), что свидетельствовало о необратимых изменениях в пленке, невидимых в микроскоп.

Убедившись таким образом в наличии нелинейного рассеяния обсудим его природу. Известно <sup>2</sup>, что температурная производная диэлектрической проницаемости серебра достаточно высока и наблюдаемое рассеяние, как показывают оценки, можно рассматривать как ВТР на решетке диэлектрической проницаемости. Тогда обратимость решетки, ответственной за эффект, вполне объяснима. Отметим, что изменения диэлектрической проницаемости приповерхностных слоев металла за счет других механизмов пренебрежимо ма-

лы. Для температурных решеток с большим периодом  $\Lambda$  время установления намного превосходит длительность импульса, вследствие чего они не реализуются<sup>4,5</sup>. С другой стороны для решеток с малым периодом, когда процесс можно считать установившимся, дальнейшее уменьшение  $\Lambda$  приводит лишь к уменьшению эффективности ВТР<sup>4,5</sup>. Имея возможность плавно менять угол падения, а значит и период температурной решетки, мы убеждаемся в существовании оптимального угла  $\theta_{\text{опт}}$ , соответствующего наибольшей эффективности рассеяния. Для проверки количественного соответствия  $\theta_{\text{опт}} \cong 70^\circ$  теплофизическим и оптическим константам пленки проводятся теоретические исследования эффекта.

При энергиях  $E_L > E_{\text{пор}}$  разрушение в первую очередь наступает в максимумах температурной решетки и на поверхности пленки должны оставаться нормальные периодические структуры (ПС)<sup>6,7</sup>, что подтверждается экспериментально. На рис. 2 приведены микрофотографии пленки для  $\theta = 68^\circ$  при небольшом (рис. 2,а) и большом (рис. 2,б) превышении  $E_L$  над порогом разрушения. Как и нелинейное рассеяние, ПС наблюдались при  $50^\circ < \theta < 75^\circ$ . Их период  $\Lambda$  соответствовал рассеянию лазерного пучка в ПЭВ, т.е. с высокой точностью выполнялось соотношение  $\Lambda^{-1} = \lambda^{-1} \{ [\epsilon_1 / (\epsilon_1 + 1)]^{1/2} - \sin \theta \}$ , где  $\lambda = 1,06$  мкм. После возникновения ПС рассеяние происходит уже на решетке разрушения, имеющей высокую дифракционную эффективность<sup>8</sup>, что приводит к дальнейшему увеличению энергии сигнала (см. рис. 1). С помощью рис. 2 можно получить дополнительную информацию о ВТР, поскольку температурная решетка является зародышем наблюдаемых ПС. Можно видеть, что в результате ВТР не образуется единой ПЭВ с постоянной по всему пятну фазой. Вследствие переноса энергии вдоль волнового вектора ПЭВ (направлен на рис. 2 слева направо), ее фаза в этом направлении скоррелирована. В перпендикулярном направлении фаза ПЭВ сбивается на размер в несколько десятков микрон. Таким образом формируется несколько ПЭВ, распространяющихся под небольшим углом друг к другу, что несколько увеличивает расходимость регистрируемой объемной волны.

Лишь малая доля энергии ПЭВ переизлучается в объем стекла, поскольку основная ее часть поглощается. Вследствие дополнительного поглощения участки пленки, где вследствие ВТР возбуждается ПЭВ, могут разрушаться раньше (см. рис. 2). На рис. 3 в относительных единицах приведена угловая зависимость пороговой плотности энергии  $P_{\text{пор}} = E_{\text{пор}} : \cos \theta$  (треугольники), полученная экспериментально. Помимо этого была рассчитана угловая зависимость доли поглощаемой пленкой энергии  $A(\theta)$  в предположении, что энергия ПЭВ мала. Поскольку разрушение определяется именно поглощенной плотностью энергии, в отсутствие нелинейного рассеяния произведение  $A(\theta) P_{\text{пор}} = \text{const}$ . На рис. 3 сплошной кривой нанесена угловая зависимость  $A(30)/A(\theta)$ , совмещенная с кривой для  $P_{\text{пор}}$  при  $\theta = 30^\circ$ . Существенное расхождение кривых при  $50^\circ < \theta < 75^\circ$  указывает на заметное влияние дополнительного поглощения, обусловленного нелинейным рассеянием в ПЭВ, на порог разрушения пленки. Отметим, что возможная при определении величин  $\epsilon$  и  $d$  ошибка слабо влияет на вид кривой  $A(30)/A(\theta)$ , несмотря на то, что абсолютное значение  $A$  может измениться. Это подтверждает достоверность последнего вывода. Таким образом в настоящей работе экспериментально исследовано ВТР в ПЭВ на решетке диэлектрической проницаемости.

#### Литература

1. Поверхностные поляритоны под ред. В.М. Аграновича, Д.Л. Миллса, М: Наука, 1985.
2. Nunzi J.M., Ricard D. Appl. Phys. B, 1984, 35, 209.
3. Мухин Ю.В., Пилипецкий Н.Ф., Сударкин А.Н., Ушаков К.Н. ДАН СССР, 1985, 285, 8-4
4. Старунов В.С., Фабелинский И.Л. УФН, 1969, 98, 441.
5. Зельдович Б.Я., Собельман И.И. УФН, 1970, 101, 3.
6. Ахманов С.А., Емельянов В.И., Коротеев Н.И., Семиногов В.Н. УФН, 1985, 147, 6-5

7. *Бонч-Бруевич А.М., Коченгина М.К., Либенсон М.Н., Пудков С.Д., Трубаев В.В.* Изв. АН СССР, сер. физ., 1982, 46, 1186.

8. *Куликов О.Л., Филипецкий Н.Ф., Сударкин А.Н., Шкунов В.В.* Письма в ЖЭТФ, 1980, 31, 377.

Институт проблем механики  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
13 января 1987 г.

---