

КРАЕВЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ИК ДИАПАЗОНА ВДОЛЬ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА

Г.Н.Жижин, М.А.Москалева, Е.В.Шомина,
В.А.Яковлев

Предложен новый метод возбуждения поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ) ИК диапазона с помощью диафрагмы. Наблюдались возбуждение и срыв ПЭВ на краю металла, исследовалось влияние царапин различной ширины на распространение ПЭВ.

Хорошо известен метод возбуждения поверхностной электромагнитной волны (ПЭВ) с помощью призмы нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) [1 — 4]. ПЭВ — нерадикационные возбуждения с волновым вектором большим, чем волновой вектор света в воздухе и по закону сохранения импульса ПЭВ не могут быть возбуждены светом, падающим на гладкую поверхность металла. Можно было предположить что если на пути света, падающего под скольльзящим углом на поверхность металла, находится щель между этой поверхностью и диафрагмой (расположенной близко к поверхности), то на краю щели произойдет изменение волнового вектора света и на поверхности металла возбуждятся ПЭВ.

Мы исследовали возбуждение ПЭВ на поверхности пленки алюминия толщиной 0,3 мкм, много большей глубины проникновения ПЭВ в металл. Излучение CO_2 -лазера фокусировалось линзой из хлористого натрия с фокусным расстоянием 10 см на поверхность металла, при этом ПЭВ не возбуждалась. Если на место, где было сфокусировано излучение, опускалось при помощи микрометрического винта лезвие бритвы, на поверхности металла появлялась ПЭВ. Угол падения света менялся от 86 до 88°, максимальная эффективность возбуждения была при 88°. Таким же способом можно и превращать ПЭВ в объемное излучение. Наблюдается оптимальный зазор между металлом и лезвием (несколько десятков микрон), при котором эффективность перехода падающего излучения в ПЭВ максимальна. Этот зазор примерно совпадает с оптимальным зазором призма-металл в случае возбуждения ПЭВ с помощью призмы НПВО.

Изучение влияния угла падения света в призме и зазора между призмой и металлом (в случае возбуждения ПЭВ призмой НПВО) на эффективность перехода падающего излучения в ПЭВ, показало, что оптимальный угол возбуждения несколько меньше критического. Эти экспериментальные результаты подтверждаются и расчетом, который мы провели для собственных колебаний системы "призма-зазор-металл" для хорошо проводящих металлов в ИК области спектра. Таким образом волны под призмой являются строго говоря не поверхностными, а обычными плоскими волнами, которые частично превращаются в поверхностные при выходе из-под призмы. При этом на краю призмы из-за нарушения

трансляционной симметрии происходит скачок волнового вектора, который увеличивается, становясь больше, чем у света в воздухе.

Можно сделать вывод, что и в случае возбуждения ПЭВ призмой НПВО, и в предложенном нами методе возбуждения работает один и тот же механизм, а именно изменение волнового вектора поля за счет нарушения трансляционной симметрии на краю препятствия. Экспериментально в обоих случаях элементы возбуждения не повреждают поверхность, а возбуждение с помощью диафрагмы позволяет обойтись без изготовления призмы и исследовать образцы меньших размеров.

Рассмотрим теперь край металлической поверхности, по которой распространяется ПЭВ. ПЭВ на краю легко срывается, превращаясь в объемное излучение (это хорошо известно [2, 5] для радиодиапазона). Можно реализовать процесс, обратный срыву ПЭВ – возбуждение ПЭВ объемным излучением, падающим на край поверхности. Фокусируя лазерное излучение на край металла, мы наблюдали возбуждение ПЭВ при скользком падении луча аналогично возбуждению с диафрагмой.

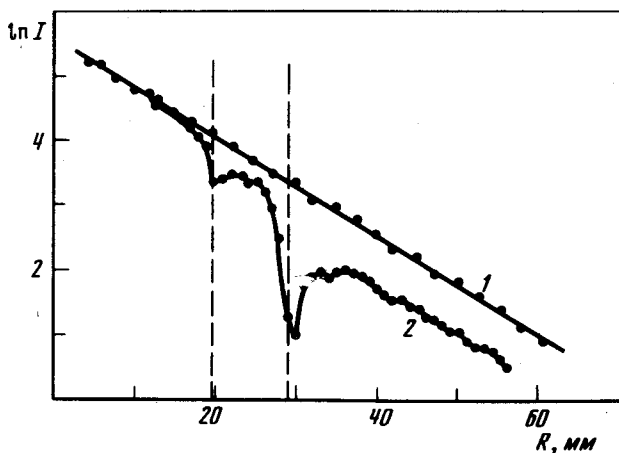


Рис. 1. Зависимость интенсивности ПЭВ от расстояния между призмами: 1 – распространение ПЭВ по металлу без царапин, 2 – с царапинами.

Если на металле сделаны царапины (со стеклянной подложки с напыленным слоем металла удалены поперечные полоски металла), то ПЭВ, подходя к границе царапины, должна полностью превратиться в объемное излучение, распространяющееся почти параллельно поверхности. На другой границе царапины происходит обратное преобразование объемной волны в поверхностную. Мы экспериментально исследовали ослабление ПЭВ царапинами разной ширины на пленке алюминия. Возбуждение и регистрация ПЭВ осуществлялись призмами НПВО. На рис. 1 дана в полулогарифмическом масштабе зависимость интенсивности излучения, выходящего из второй призмы от смещения выходной призмы относительно неподвижной входной. На металле были сделаны две царапины: первая – шириной 20 мкм, вторая – шириной 0,5 мм. Ширина царапины измерялась с помощью микроскопа. Когда между призмами нет

царапин; интенсивность излучения, выходящего из призмы экспоненциально убывает с увеличением расстояния между призмами. Наклон прямой 1 на рис. 1 даёт длину пробега ПЭВ $L = 1,2$ см при $\nu = 945$ см $^{-1}$. Если выходная призма находится над царапиной, интенсивность излучения, выходящего под углом, соответствующим выходу ПЭВ, резко падает (излучение, срываясь с края царапины, выходит из призмы под другим углом). Когда призма снова оказывается над металлом, регистрируем ПЭВ с меньшей интенсивностью, так как не вся энергия, сорвавшаяся с края металла на одной границе царапины, преобразуется в ПЭВ на другой границе, часть энергии остается в виде излученной волны. На второй царапине наблюдается аналогичный скачок интенсивности, только больший из-за большей ширины царапины. Наклон прямой на рис. 1 после царапин не меняется, так как ПЭВ распространяется по тому же металлу, но прямая опускается на величину потерь на излучение.

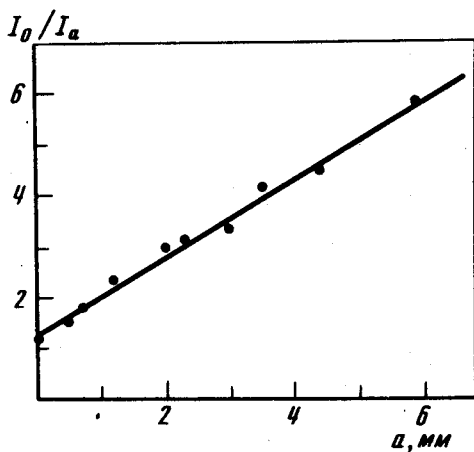


Рис. 2. Зависимость ослабления интенсивности ПЭВ I_0/I_a от ширины царапины a на поверхности металла: I_0 — интенсивность ПЭВ без царапины, I_a — с царапиной, шириной a

Зависимость ослабления интенсивности ПЭВ от ширины царапины дана на рис. 2. По наклону прямой можно оценить направленность пучка излучения, сорвавшегося с края металла, предположив, что из-за расходимости часть излучения, подошедшего ко второй границе царапины, не может превратиться в ПЭВ (так как оказалась слишком далеко от поверхности металла). Расходимость сорвавшегося пучка излучения, оцененная таким образом, несколько градусов. Примерно такая же величина расходимости была получена и при прямом измерении диаграммы направленности излучения, срывающегося с края металла.

Изученные нами краевые эффекты могут оказаться полезными при исследованиях по кристаллооптике ПЭВ [2]. Предложенные методы возбуждения и регистрации ПЭВ, распространяющихся вдоль поверхности металла, могут использоваться в спектроскопии ПЭВ наряду с методом НПВО и во многих случаях заменить его.

Институт спектроскопии
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
22 февраля 1979 г.

Литература

[1] F. Shoenwald, E. Burstein, J. M. Elson. Solid State Comm., 12, 185, 1973.

- [2] В.М. Агранович. УФН, 115, 199, 1975.
- [3] Г.Н.Жижин, М.А.Москалева, Е.В.Шомина, В.А.Яковлев. Письма в ЖЭТФ, 24, 221, 1976.
- [4] D.L. Begley, D.A. Bryan, R.W. Alexander, R.F. Bell. Appl. Optics, 16, 1549, 1977.
- [5] В.В.Шевченко. Плавные переходы в открытых волноводах. М., изд. Наука, 1969.
-