

ШИРОКОПОЛОСНАЯ ЧАСТОТНО-УГЛОВАЯ РЕГИСТРАЦИЯ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОННЫХ ПОЛЯРИТОНОВ

С.Н. Орлов, Ю.Н. Поливанов, Р.Ш. Саяхов, В.В. Чуянов

Реализована широкополосная регистрация спектров излучения поверхностных плазмонных поляритонов (ПП) металлической пленки в конфигурации Крейчмана с использованием оптической схемы со скрещенной частотно-угловой дисперсией. ПП возбуждались источником белого света за счет естественной шероховатости поверхности металлической пленки.

Поверхностные плазмонные поляритоны (ПП) представляют собой нерадикационные электромагнитные волны, распространяющиеся вдоль границы раздела металл — диэлектрик, амплитуда которых экспоненциально спадает при удалении от границы. При отражении света от гладкой поверхности металла они не могут быть возбуждены прямым образом из-за невыполнения закона сохранения импульса для ПП и падающей волны. Однако, если поверхность или граница раздела содержат источник добавочного импульса, то возбуждение становится возможным. Таким источником дополнительного импульса могут быть, в частности, шероховатости границ раздела*. Шероховатости дают широкий спектр значений волновых векторов, и поэтому возбуждение ПП может осуществляться в широком диапазоне волновых векторов и энергий, удовлетворяющих соответствующему закону дисперсии. Возбужденные за счет шероховатостей ПП могут быть непосредственно зарегистрированы путем преобразования их в фотоны с использованием, например, конфигурации Крейчмана**. В этом случае излучение ПП с заданной частотой будет выходить из призмы под определенным углом. Это обстоятельство было использовано нами для регистрации такого излучения с использованием оптической системы со скрещенной частотно-угловой дисперсией***, позволяющей получать двумерную спектрограмму, представляющую собой зависимость направления распространения из призмы преобразованных в фотоны ПП от их частоты. Эта зависимость отражает закон дисперсии ПП. Схема оптической системы представлена на рис. 1. Серебряная пленка (2) толщиной около 300 Å, нанесенная на гипотенузную грань прямоугольной стеклянной призмы (3), освещается излучением лампочки накаливания (1). При этом происходит широкополосное возбуждение ПП, обусловленное шероховатостью поверхности пленки. Возбужденные таким образом ПП преобразуются призмой в фотоны, причем на выходе из призмы излучение определенной частоты распространяется под определенным углом в соответствии с законом дисперсии ПП и параметрами призмы. Это излучение собирается линзой (4), в фокальной плоскости которой расположена щель (5) спектрографа (6). В фокальной плоскости объектива спектрографа (на фотопленке или оптическом многоканальном анализаторе) получается частотно-угловой спектр, т.е. зависимость частоты преобразованных в фотоны ПП от угла (а, следовательно, и волнового вектора ПП), под которым происходит их излучение.

* Вопросам влияния свойств границы раздела на взаимодействие фотонов с ПП посвящена обширная литература (см., напр., /1/).

** Аналогично режиму обращенного нарушенного полного внутреннего отражения, используемого для регистрации термостимулированного излучения поверхностных поляритонов /1/.

*** Такая оптическая система применялась нами ранее для регистрации частотно-угловых спектров комбинационного рассеяния света на объемных фоновых поляритонах /2/.

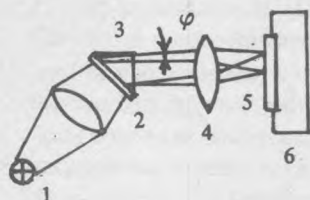


Рис. 1. Схема оптической системы для регистрации частотно-углового спектра излучения поверхностных плазменных поляритонов.

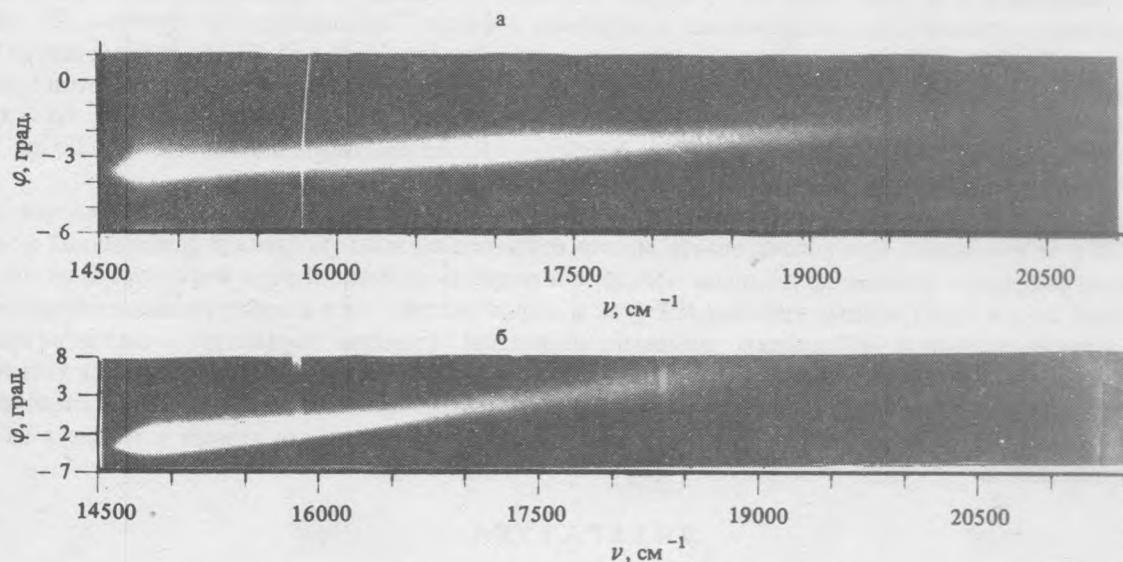


Рис. 2. Частотно-угловой спектр излучения поверхностных плазменных поляритонов, возбуждаемых на чистой пленке серебра (а) и на пленке серебра с покрытием Cs_2O (б).

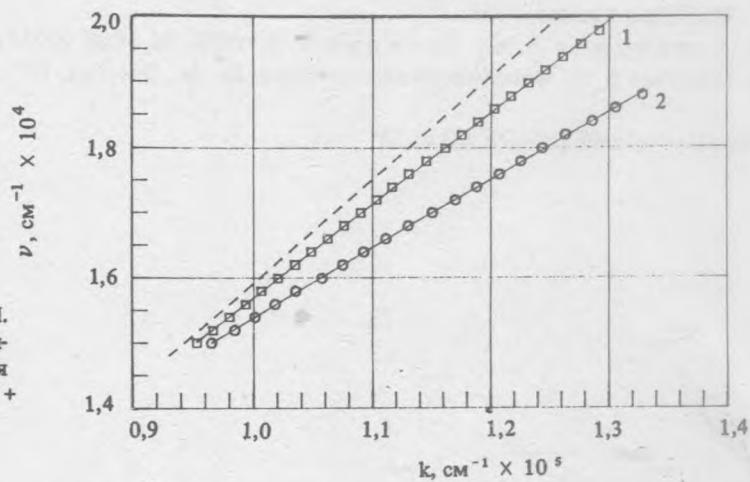


Рис. 3. Экспериментальные кривые дисперсии ПП. Сплошные кривые проведены через экспериментальные точки. Штриховая прямая — световая линия в вакууме ($\gamma = k/2\pi$), 1 — Ag, 2 — Ag + Cs_2O .

Пример такого спектра, полученного на спектрографе ИСП-51 на фотошленке Изоланхром 22, приведен на рис. 2а. Угол ϕ , под которым распространяется излучение из призмы, отсчитывается относительно нормали к выходной грани призмы. На приведенной спектрограмме отчетливо видна зависимость частоты излучения ПП от угла ϕ , что отражает дисперсию ПП (дисперсия призмы "работает" в обратную сторону). Был получен также частотно-угловой спектр излучения ПП пленки серебра той же толщины, покрытой окислом цезия Cs_2O толщиной в несколько десятков ангстрем (рис. 2б). Толщина пленки Cs_2O выбиралась из условия получения минимальной работы выхода фотоэлектронов из серебра, а сама

пленка наносилась способом, широко используемым в производстве фотокатодов /3/. Из сравнения рис. 2а и 2б видно, что наклоны $d\nu/d\varphi$ частотно-угловых спектров излучения ПП, распространяющихся по чистой пленке и по пленке с Cs_2O покрытием, значительно отличаются (обратим внимание на разные угловые масштабы в спектрах, приведенных на рис. 2а и 2б). Это свидетельствует о значительном влиянии достаточно тонкой пленки Cs_2O на дисперсию ПП. Кроме того, в случае пленки с окислом наблюдается заметное уширение частотно-углового спектра излучения (по отношению к случаю чистой пленки) и полное его исчезновение в высокочастотной ($\nu \geq 20000 \text{ см}^{-1}$) области спектра, что связано с поглощением ПП в слое Cs_2O , обусловленным межзонными электронными переходами (эффект "металлического" тушения ПП /4/). Заметим, что Cs_2O — полупроводник с шириной запрещенной зоны порядка 2 эВ /5/. Кривые дисперсии ПП на чистой пленке серебра и пленке серебра с покрытием Cs_2O , полученные в результате обработки приведенных спектрограмм, представлены на рис. 3. Видно, что тонкое покрытие из Cs_2O приводит к значительному сдвигу дисперсионной кривой ПП на пленке серебра, особенно заметному в области $\nu > 16000 \text{ см}^{-1}$, в которой покрытие становится "резонансным".

Фотографическая регистрация является достаточно простым и наглядным методом определения дисперсии ПП и ее изменений. При использовании многоканального анализатора (вместо фотопленки) можно значительно расширить возможности данной методики и получать количественную информацию не только о дисперсии, но и о спектральных ширинах ПП (как в ν -пространстве, так и в пространстве волновых векторов), а также проводить регистрацию временных изменений указанных параметров в широком спектральном диапазоне. Таким образом, методика широкополосной частотно-угловой регистрации спектров излучения поверхностных плазмонных поляритонов представляется перспективной при исследовании состояния поверхности, а также динамики процессов адсорбции и десорбции атомов и молекул на поверхности металлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поверхностные поляритоны. Сб. статей под ред. Аграновича В. М., Миллса Д.Л. М., Наука, 1985.
2. Поливанов Ю. Н. УФН, 126, 185 (1978).
3. Берковский А. Г., Гаванин В. А., Зайдель И. Н. Вакуумные фотоэлектронные приборы. М., Радио и связь, 1988.
4. Агранович В. М., Лескова Т. А. ФТТ, 16, 1800 (1974).
5. Соммер А. Фотоэмиссионные материалы. М., Энергия, 1973.

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 26 февраля 1990 г.