

ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ ЦЕНТРОВ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАЗМАНОМ

Ю. М. Герштейн, И. А. Меркулов, Д. Н. Мирлик

Экспериментально установлено существование резонансной передачи энергии от возбужденных вблизи поверхности металла молекул поверхностным плазмонам.

Вблизи поверхности металла наблюдается уменьшение времени жизни [1] и интенсивности свечения [2] при люминесценции возбужденных центров. Это явление связывается с безызлучательными процессами, происходящими вблизи металлической поверхности. Недавно в [3, 4] в качестве возможного механизма безызлучательных переходов рассмотрена передача энергии от возбужденного центра люминесценции поверхностному плазмону металла. Иными словами предполагается, что возбужденный атом на поверхности металла "высвечивается" не только в виде фотонов, но и в виде поверхностных плазмонов. Ниже приведены результаты прямого эксперимента, подтверждающего справедливость этого предположения.

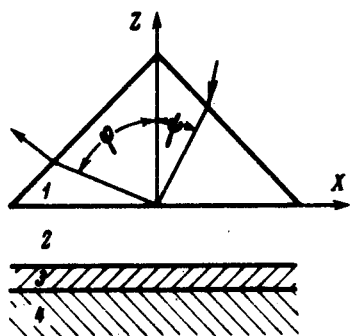


Рис. 1. Геометрия наблюдения излучения света поверхностными плазмонами: 1.— кварцевая призма, 2 — воздушный зазор, 3 — пленка люминофора, 4 — металл, ψ — угол падения возбуждающего люминесценцию света, ϕ — угол наблюдения излучения

Как известно, поверхностные поляритоны (плазмоны, фононы) являются нерадиационными и не взаимодействуют с плоской электромагнитной волной, падающей на гладкую поверхность. В оптических экспериментах последних лет эта трудность обходится применением метода нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) [5, 6]. Вносимое при этом радиационное уширение делает принципиально возможным наблюдение не только поглощения p -поляризованного света поверхностными поляритонами, но и обратного процесса — излучения света [7, 8].

В данной работе поверхностные плазмоны регистрировались по излучению ими фотонов в кварцевую призму при возбуждении люминесценции тонкой ($< 100 \text{ \AA}$) пленки люминофора ("люмогена желтозеленого") нанесенного на плоскую поверхность серебра рис. 1. Люминесценция возбуждалась ртутными линиями 365 и 254 нм под углом $\psi = 33^\circ$ меньшим угла полного внутреннего отражения призмы. Зазоры между металлом и призмой ($\sim 0,5 \text{ мкм}$) выбирались таким образом, чтобы в спектрах НПВО на-

блюдались сильные полосы поглощения поверхностными плазмонами. Экспериментально измерялось угловое распределение излучения, которое через монохроматор регистрировалось фотоумножителем. Угол ϕ , соответствующий максимуму полосы излучения, определял волновой вектор k_x поверхностных плазмонов в соответствии с соотношением $k_x = \frac{\omega}{c} \sqrt{\epsilon} \sin \phi$, где ϵ — диэлектрическая проницаемость призмы.

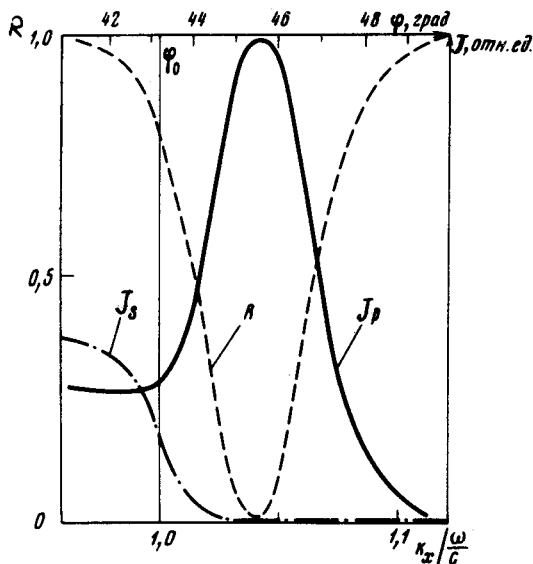


Рис. 2. Поглощение и излучение света поверхностными плазмонами: R — поглощение p -поляризованного света (спектр НПВО) J_p, J_s — излучение p - и s -поляризованного света, ϕ_0 — угол полного внутреннего отражения призмы

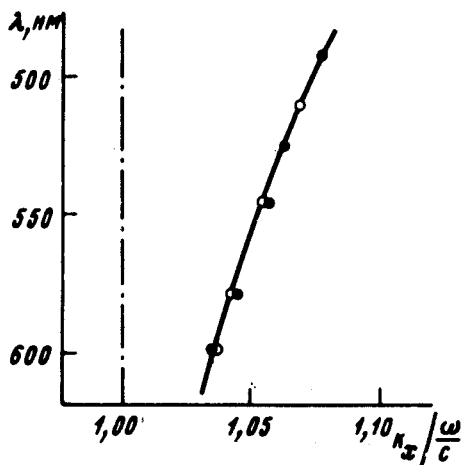


Рис. 3. Дисперсионная зависимость поверхностных плазмонов, измеренных по поглощению (метод НПВО) и излучению p -поляризованного света. Точки — получены из спектров НПВО, кружки — из спектров излучения, I — дисперсионная зависимость света в вакууме ($\omega = ck$)

Угловое распределение s - и p -поляризованной люминесценции для длины волны $\lambda = 580$ нм изображено на рис. 2. Там же приведен спектр НПВО, т. е. угловая зависимость зеркального отражения p -поляризованного света той же длины волны (кривая R) и отмечено значение угла полного внутреннего отражения ϕ_0 . Сильная полоса на кривой R в области полного внутреннего отражения $\phi > \phi_0$ связана с поглощением света по-

верхностными плазмонами. Угловая зависимость s -поляризованной люминесценции (кривая J_s) характеризуется наличием излучения в области углов $\phi < \phi_0$, что очевидно соответствует люминесценции, которая может наблюдаться и без призмы. Для p -поляризованной люминесценции наблюдается кроме того сильная полоса излучения в области $\phi > \phi_0$ (кривая J_p). Сравнение кривых J_p и R показывает, что положение максимума полосы излучения практически совпадает с положением минимума полосы поглощения света поверхностными плазмонами.

Аналогичные измерения были выполнены для других длин волн в спектре люминесценции люминофора. При увеличении частоты полоса p -поляризованной люминесценции сдвигается в сторону больших углов ϕ и уширяется. Эти результаты находятся в согласии с измерениями положения и ширины полос поглощения света поверхностными плазмонами. На рис. 3 сопоставлены положения максимумов в спектрах излучения и НПВО для различных значений k_x . Из рисунка видно, что закон дисперсии определенный из спектров люминесценции практически совпадает с законом дисперсии поверхностных плазмонов измеренным по спектрам НПВО.

Таким образом, приведенные экспериментальные данные свидетельствуют о наличии механизма резонансной передачи энергии от возбужденных молекул люминофора к системе поверхностных плазмонов металлической подложки. Аналогичный эффект вероятно имеет место для любых адсорбированных молекул при условии совпадения частоты дипольного перехода в молекуле с областью существования поверхностных пларитонов адсорбента.

Авторы признательны Б.П.Захарчене за обсуждение результатов работы.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
2 июня 1975 г.

Литература

- [1] K.H.Drexhage. J.Lumin., I, 693, 1970.
- [2] C.W.White, N.H.Tolk. Phys. Rev. Lett., 26, 486, 1971.
- [3] J.I.Gersten, N.Tzoar. Phys. Rev. B, 9, 4038, 1974.
- [4] H.Morawitz, M.K. Philpott. Phys. Rev. B, 10, 4863, 1974.
- [5] A.Otto. Zs. Phys., 216, 398, 1968.
- [6] В.В.Брыксин, Ю.М.Гербштейн, Д.Н.Мирлин. ФТТ, 13, 2125, 1971.
- [7] В.В.Брыксин, Ю.М.Гербштейн, Д.Н.Мирлин. ФТТ, 14, 3368, 1972.
- [8] J.Schoenwald, E.Burstein, J.M.Elson. Sol. St. Comm., 12, 185, 1973.