

0.4; 0.7

© 1990

ДИАГРАММА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

И.Ю. Б о р е ц - П е р в а к, В.С. В о р о б ь е в,
С.В. М а к с и м е н к о

В безразмерных координатах – интенсивность облучения, энергия облучения на единицу поверхности, для различных материалов построена область, в которой возникает приповерхностная лазерная плазма (ПЛП) либо за счет нагрева и испарения поверхности, либо ее теплоизолированных микронеровностей. На эту же плоскость легко нанести реальный лазерный импульс, воздействующий на тот или иной материал. Пересечение лазерным импульсом границы области указывает на возникновение ПЛП. Диаграмма построена для широкого диапазона изменения интенсивностей и энергий лазерных импульсов.

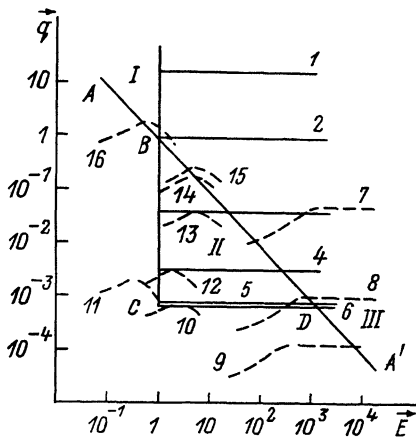
Пусть на поверхности твердого тела нормально падает сфокусированный лазерный луч переменной интенсивности $q(t)$ с энергией на единицу поверхности $E(\tau) = \int_0^\tau q(t) dt$. Полная энергия импульса E_t , τ_1 , q_1 – время и интенсивность в максимуме. Исследования показывают, что в случае воздействия относительно длинных импульсов $\tau \geq 10^{-3}$ с для образования ПЛП поверхность тела необходимо нагреть до некоторой температуры $T \leq T_k$ (T_k – температура кипения или сублимации материала мишени при данном давлении окружающего газа). Для этого необходимо выполнить условие [2]:

$$\frac{1}{\sqrt{E}} E \geq \frac{3\sqrt{\pi}}{8} \frac{c_p T_k}{\xi} \sqrt{\chi}, \quad (1)$$

где c_p, ρ, χ, ξ – теплоемкость, плотность, коэффициент температуропроводности, коэффициент поглощения материала мишени. Для постоянного импульса вместо множителя $3\sqrt{\pi}/8$ в (1) нужен множитель $\frac{2}{\sqrt{\pi}}$. Более подробная классификация состояний ПЛП, образующейся за счет нагрева поверхности, приведена в [3].

В случае относительно коротких импульсов с $\tau < 10^{-6}$ с плазма может возникать за счет нагрева и испарения теплоизолированных микронеровностей поверхностей [4]. Для образования плазмы по этому механизму необходимо выполнить два условия [5]:

$$E \geq E_k = \frac{c_p T_k d}{\xi}, \quad (2)$$



$$q \geq q_m = \frac{\pi^2}{3} \frac{\Delta}{\epsilon'_\omega (R_m n_\nu \sigma)^2}, \quad (3)$$

(2) соответствует нагреву микронеровности до T_K . В (2) d - характерный размер микронеровности, (3) соответствует условию, чтобы в образовавшемся после испарения микродефекта облаке

паров развилась бы ионизация. В (3) $\epsilon'_\omega = \frac{4\pi e^2}{m c \omega^2}$, ω - частота

лазерного излучения, n_ν - концентрация пара, σ - сечение упругого рассеяния электрона на атоме пара, Δ - характерная энергия возбуждения атома пара,

$$R_m = \left(\frac{3\rho dS}{2\pi\rho_\nu} \right)^{1/3} \quad (4)$$

- максимально возможный размер полусферического облака пара, возникающего при полном испарении микронеровности, S - площадь микронеровности, ρ_ν - плотность паров.

Введем безразмерные переменные $E' = \frac{E}{E_K}$ и $q' = \frac{q d^2}{E_K \chi}$ (ниже

штрихи будут опущены). В этих переменных неравенства, определяющие область существования ПЛП, соответствующие (1-3), будут иметь вид

$$E \geq 1; \quad q \geq \frac{q_m d^2}{E_K \chi}; \quad q \geq \frac{9\pi}{32} \frac{1}{E}. \quad (5)$$

Область существования ПЛП, удовлетворяющая неравенствам (5), нанесена на рисунке. В безразмерных координатах первое и третье

Т а б л и ц а 1

	$Cu(a)$	$Cu(\delta)$	Al	Bi	C	LiH
d , МКМ	0.044	0.19	0.05	0.075	0.1	0.05
S , МКМ ²	2600	120	4000	4000	400	400
$E_k \frac{Дж}{CM^2}$	0.57	2.5	0.3	0.045	0.19	0.03
$g_m \frac{MBT}{CM^2}$	26.5	5.3	12.1	5.3	100	174.7
λ , $\frac{CM^2}{C}$	1.14	1.14	0.33	0.16	0.056	$8.5 \cdot 10^{-3}$
$\frac{g_m d^2}{E_k \lambda}$	$7.9 \cdot 10^{-4}$	$6.9 \cdot 10^{-4}$	$3.2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-2}$	0.94	17.1
ξ	0.1	0.1	0.1	0.3	1	1

$Cu(a)$ - полированная медь, $Cu(\delta)$ - неполированная медь.

Т а б л и ц а 2

№ импульса на диаграмме	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
	τ_1 , с	10 ⁻⁴		8 10 ⁻⁸							
$g_1 \frac{MBT}{CM^2}$				26.5	16.7	12.1	5.4	19.2	3.84	200	
$(E_k \frac{Дж}{CM^2})$	6	4	5	(13.8)	(8.7)	(6.3)	(2.8)	(10)	(2)		
Материал	C	Al	$Cu(a)$	$Cu(a)$	$Cu(\delta)$	Al	Bi	C	LiH	C	
Эксперимент		[1]					[6], см. также обработку [6] [5]			-	

из неравенств (5) универсальны, а второе зависит от материала

мишени. На рисунке представлен набор прямых $q = \frac{q_m a^2}{E_k X}$ (1-6),

соответствующих мишеням из *LiH, C, Bi, Al, Cu* (полированная),

Cu (неполированная). Необходимые для расчета теплофизические

характеристики этих материалов приведены в таблице. Например,

для *Cu* плазма образуется в части плоскости, лежащей выше ломаной ABCDA.

Для других материалов горизонтальный участок

этой ломаной соответственно смещается. Напомним, что участок

ВСД обусловлен микродефектами. Видно, что этот механизм наи-

более существенен для металлов, имеющих малый коэффициент по-

глощения и высокую теплопроводность. Для материалов с большим

коэффициентом поглощения и низкой теплопроводностью (*C, Li, H*)

указанный механизм практически не играет роли (см. рисунок).

Область 1 на рисунке соответствует режимам, когда нагрев мик-

ронеровностей и основной поверхности происходят одновременно,

II - когда микронеровности нагреваются быстрее основной поверх-

ности, III - плазма возникает за счет нагрева основной массы ма-

териала. На этой же плоскости нанесены лазерные импульсы, со-

ответствующие экспериментам, в которых возникала ПЛП на раз-

личных материалах. Характеристики этих импульсов сведены в

таблицу 2. Импульсы (7-9) [1] имеют $\tau_1 \approx 10^{-4}$ с и плато, ко-

торое длится 10^{-3} с. Как видно из рисунка, образование плазмы

происходит в этом случае за счет нагрева основной поверхности.

Импульсы (10-16) имеют форму, характерную для ТЕА лазеров с

„главным максимумом и хвостом“ [6]. Импульсы (10-13) каса-

ются области существования ПЛП, что соответствует пороговым

режимам ее образования, зафиксированным в [6]. Импульсы 14,

15 (*C, LiH*) соответствуют плазмообразованию за счет нагрева

основной поверхности материала. Импульс 16, построенный нами

для малых времен нарастания переднего фронта τ_1 и больших ин-

тенсивностей q_1 , попадает в область 1.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

[1] Даньшиков Е.В., Дымшаков В.А., Лебедев Ф.В., Рязанов А.В. // Квантовая электроника. 1985. Т. 12. № 9. С. 1863-1872.

[2] Данилычев В.А., Зворыкин В.Д., Холлин И.В., Чугунов А.Ю. // Квантовая электроника. 1980. Т. 7. № 12. С. 2599-2603.

[3] Даньшиков Е.В., Лебедев Ф.В., Рязанов А.В. // Физика плазмы, 1984. Т. 10. № 3. С. 385-391.

[4] Агеев В.П., Бурдин С.Г., Гончаров И.Н., Конов В.И., Минаев И.М., Чаплиев Н.И. Взаимодействие мощного импульсного лазерного излучения с твердыми телами в газах. М.: ВИНТИ, 1983. 220 с.

- [5] Воробьев В.С., Максименко С.В. // Квантовая электроника. 1988. Т. 15. № 12. С. 2537-2546.
- [6] Ursu I., Apostol I., Dinescu M., Hening A., Michalescu N., Prokhorov A.M., Chapliev N.I., Konov V.I. // J. Appl. Phys. 1985. V. 58. N 5. P. 1765-1771.
- [7] Бабаева Н.А., Белоусов С.К., Васковский Ю.М., Конов В.И., Прохоров А.М., Ровинский Р.Е., Чаплиев Н.И. // Квантовая электроника. 1986. Т. 13. № 3. С. 493-496.

Институт высоких температур
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию
26 января 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 6

26 марта 1990 г.

06.2; 06.3

© 1990

УЗКОПОЛОСНЫЕ СЕЛЕКТИВНЫЕ ФОТОПРИЕМНИКИ НА ОСНОВЕ СТРУКТУР ШОТТКИ

Л.В. Беляков, Д.Н. Горячев,
Б.Д. Румянцев, О.М. Сресели,
И.Д. Ярошецкий

Структуры Шоттки с периодически профилированной поверхностью (рельефной дифракционной решеткой — ДР) обладают фоточувствительностью, селективной по отношению к длине волны, поляризации и углу падения света [1, 2]. На их основе возможно создание узкополосных селективных фотоприемников, поляризационно-чувствительных детекторов, датчиков угловых перемещений источника излучения и других аналогичных устройств.

В большинстве применений требуется достаточно высокая селективность фотоответа и превышение сигнала в максимуме $I_{\text{макс}}$ над сигналом вдали от резонанса I_0 по крайней мере в несколько десятков раз.

Нами проведен теоретический анализ работы указанных структур и обнаружено, что их селективные свойства могут быть улучшены за счет оптимизации параметров — глубины рельефа и толщины слоя металла. В настоящем сообщении представлены результаты исследования фотоответа структур $Ag-n-GaAs$ с профилированной поверхностью, обладающих высокой селективностью в видимой области спектра (полуширина пика фотоответа $\Delta\theta$ на длине