

05; 07; 10; 11; 12

© 1992

АНАЛИЗ ПРОДУКТОВ ЛАЗЕРНОЙ ДЕСОРБЦИИ С *GaAs*  
МЕТОДОМ ВРЕМЯПРОЛЕТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

А.А. Г л е б о в с к и й, А.А. Л и с а ч е н к о

Времяпролетная спектроскопия (ВПС) первичных продуктов десорбции все шире используется для анализа динамики физико-химических поверхностных процессов, индуцируемых лазерным облучением [1, 2].

Анализ спектральных зависимостей формы ВП-спектров для ряда объектов показал [3], что кинетическая энергия десорбционных поверхностных атомов скачкообразно возрастает при переходе от области несобственного в область собственного поглощения. Такой скачок объясним включением механизма передачи энергии рекомбинации электронно-дырочных пар. Однако эффект можно объяснить также резким возрастанием поглощаемой объемной мощности излучения, либо особенностями потенциала отталкивательного терма конечного состояния [4]. В связи с этим представляет интерес расширение класса исследуемых объектов, различающихся структурой зон, степенью ионности кристалла, характером адсорбционного потенциала поверхности.

В настоящей работе исследованы продукты лазерной десорбции с *GaAs*, который с одной стороны расширяет класс исследованных объектов и, кроме того, является важным технологическим материалом. Проведен масс-спектрометрический анализ состава продуктов десорбции и их распределений по кинетическим энергиям.

Опыты проводили на исследовательском комплексе [1], включающем: а) времяпролетный масс-спектрометр с автоматизированной системой регистрации быстропротекающих процессов на базе ЭВМ ДВК-3 и информационно-измерительной системы КАМАК; б) систему облучения образца импульсами излучения гармоник неодимового лазера ЛТИПЧ-5 (1064, 532, 354, 266 нм), длительностью 15 нс. Максимальная энергия импульса первой гармоники 30 МДж, плотности мощности излучения  $P/S < 80 \text{ МВт/см}^2$ .

Особенностью установки является наличие охлаждаемого жидким азотом экрана, что позволяет регистрировать состав и распределения по кинетическим энергиям только первичных (т. е. попадающих в ионный источник без соударений со стенками) продуктов десорбции. Одновременно регистрируется кинетика четырех компонентов масс-спектра.

Рабочий вакуум составлял  $(2-3) \cdot 10^{-10} \text{ Тор}$ , чувствительность по потоку молекулярного кислорода  $10^8 \text{ мол/с}$  (или  $10^{-7}$  моно-слоя за вспышку), быстроедействие  $10^{-5} \text{ с}$ .

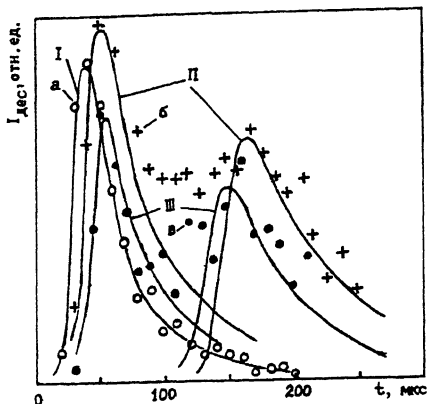


Рис. 1. ВПС  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  с поверхности  $\text{GaAs}$ .  $\lambda=532$  нм,  $P/S \sim 7$  МВт/см<sup>2</sup>. а(о) -  $\text{H}_2\text{O}$ , б (+) -  $\text{CO}$ , в (●) -  $\text{CO}_2$ ; сплошными линиями даны максвелловские распределения: I - для  $\text{H}_2\text{O}$  ( $T_K=2800$  К), II - для  $\text{CO}$  ( $T_K=2800$  К и 250 К), III - для  $\text{CO}_2$  ( $T_K=3500$  К и 320 К).

Исследовали два образца полуизолирующего  $\text{GaAs}$ : АГЧП-6 ( $\rho > 10^7$  Ом/см) и АГП-1 ( $\rho \sim 10^6$  Ом/см). Поверхность (100) до экспериментов была подвергнута полировке и химическому травлению, дополнительной обработки образцов перед опытом не проводили. Исследования проводили на длинах волн - 1064 и 532 нм. Засвечиваемые площади составляли 2.2 мм<sup>2</sup> на 1064 и 0.4 мм<sup>2</sup> на 532 нм, максимальные плотности падающей мощности соответственно 60 МВт/см<sup>2</sup> и 50 МВт/см<sup>2</sup>.

При облучении образцов, откачанных при  $10^{-10}$  Тор и  $T=290$  К в течение 4-х часов на  $\lambda=532$  нм обнаружена десорбция  $\text{H}_2\text{O}$  ( $m/e=18$ ),  $\text{CO}$  (28),  $\text{CO}_2$  (44), а также  $\text{Ga}$  (69, 71) и  $\text{As}$  (75).

Десорбция молекулярного кислорода ( $m/e=32$ ) не обнаружено. Компоненты с  $m/e > 80$  ( $\text{GaO}$ ,  $\text{GaOH}$  и др.) не контролировали.

Компоненты кристалла  $\text{Ga}$  и  $\text{As}$  появляются при  $P/S > 10$  МВт/см<sup>2</sup> для АГЧП-6 и  $P/S > 20$  МВт/см<sup>2</sup> для АГП-1, при этом количество десорбируемых компонент  $m/e=18-44$  с АГЧП-6 в  $\sim 2$  раза выше, чем с АГП-1. Количественные соотношения между тяжелыми компонентами для обоих образцов в пределах погрешности одинаковы.

Анализ распределений десорбируемых продуктов по скоростям показал, что молекулы  $\text{H}_2\text{O}$  имеют максвелловское распределение с наиболее вероятной кинетической энергией  $E_B=0.24$  эВ ( $T_K=2800$  К) независимо от образца (рис. 1, кривая а).

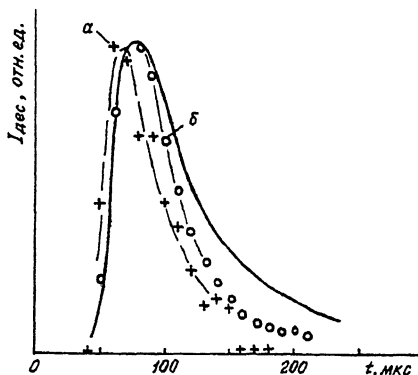


Рис. 2. ВП-спектры  $Ga$  и  $As$  с образца АГЧП-6;  $\lambda = 532$  нм,  $P/S \sim 15$  МВт/см<sup>2</sup>. а (+) -  $Ga$ , б (o) -  $As$ , сплошная линия - максвелловское распределение для  $As$  ( $T_k = 4400$  К).

В распределении молекул  $CO$  при десорбции с образца АГЧП-6 наблюдаются две формы с  $E_B = 0.24$  эВ и  $0.021$  эВ (рис. 1, кривая б). С образца АГП-1 десорбция „медленной“ формы заметна только при малых интенсивностях  $P/S$ . При больших интенсивностях вклад „медленной“ формы практически не наблюдаем, а наиболее вероятная кинетическая энергия „быстрой“ формы увеличивается до  $0.3$  эВ ( $T = 3500$  К).

В распределениях <sup>к</sup> молекул  $CO_2$  для обоих образцов имеются две формы с  $E_B = 0.31$  эВ и  $0.03$  эВ (рис. 1, кривая в). „Медленная“ проявляется только при малых амплитудах „быстрой“ формы. При большой интенсивности „быстрой“ формы (в частности, в первых вспышках) „медленной“ практически не заметно.

Распределения компонент кристалла по кинетическим энергиям нематвелловские (рис. 2, кривые а и б). Кинетические энергии соответствующие максимумам распределений:

	АГЧП-6	АГП-1
$Ga$	$0.5 \pm 0.1$ эВ	$0.6 \pm 0.1$ эВ
$As$	$0.4 \pm 0.1$ эВ	$0.4 \pm 0.1$ эВ,

На обоих образцах при больших интенсивностях десорбции ВП-спектры уширяются, но их форма не достигает максвелловской.

При воздействии излучения с  $\lambda = 1064$  нм десорбции легких молекул ( $m/e = 18, 28, 32$ ) не обнаружено. Десорбция компонент кристалла зарегистрирована с образца АГЧП-6 после 10-го импульса, а с АГП-1 после 30-го импульса с  $P/S \sim 45-50$  МВт/см<sup>2</sup>. С увеличением номера вспышки интенсивность десорбции медленно увеличивается, но соотношение между интенсивностями десорбции компонент сохраняется. Форма ВП-спектров обоих компонент нематвелловской.

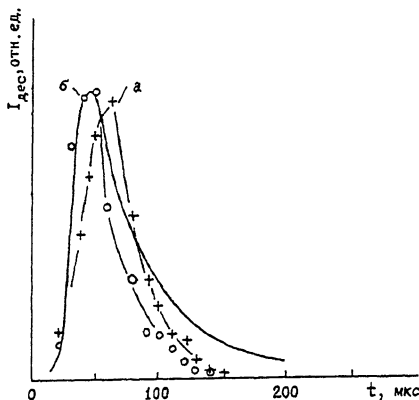


Рис. 3. ВП-спектры *Ga* и *As* с образца АГЧП-6;  $\lambda = 1024$  нм,  $P/S \sim 50$  МВт/см<sup>2</sup>,  $N > 10$ . а (+) — *Ga*, б (o) — *As*, сплошная линия — максвелловское распределение для *As* ( $T_K = 11000$  К).

велловская, а положения максимумов не зависят от образца и соответствуют кинетическим энергиям для *Ga* —  $0.7 \pm 0.2$  эВ, для *As* —  $0.9 \pm 0.2$  эВ (рис. 3).

Как и на  $\lambda = 532$  нм кинетические энергии компонент кристаллов значительно превосходят энергии, соответствующие температуре плавления.

Оценки температуры поверхности поверхности при лазерном воздействии в области собственного поглощения, выполненные с помощью оптического зондирования [5, 6] дают величину не выше температуры плавления ( $T = 1510$  К). В то же время по результатам пирометрических [7] и времяпролетных [8] измерений температура атомов, испаряемых с поверхности *GaAs*  $T_K > 3000$  К, что согласуется и с результатами данной работы.

Полученные результаты можно резюмировать следующим образом. Лазерное облучение в областях как собственного, так и несобственного поглощения приводит к десорбции адсорбированных молекул и атомов вещества. Процессы протекают более эффективно (т. е. при меньших  $P/S$ ) в области собственного поглощения. Облучение при  $P/S < (1-2) \cdot 10^7$  Вт/см<sup>2</sup> на  $\lambda = 532$  нм эффективно для „мягкой“ (без нарушения исходного кристалла) очистки поверхности.

При  $P/S > (1-2) \cdot 10^7$  Вт/см<sup>2</sup> на  $\lambda = 532$  нм и  $P/S > 4.5 \times 10^7$  Вт/см<sup>2</sup> на  $\lambda = 1064$  нм начинается разрушение поверхности. По-видимому, начальной стадией является разрушение слоя поверхностного оксида.

Новым и неожиданным является тот факт, что энергия „горячих“ атомов при облучении поверхности в области несобственного поглощения превышает энергию атомов, вылетающих при возбуждении в области собственного поглощения. Отсутствие обнаружимой десорбции адсорбированных молекул в области несобственного поглощения

указывает, что нагрев поверхности в этой области ниже, чем в области собственного поглощения и свидетельствует о нетермической природе эффекта. С другой стороны, полученный результат означает, что энергия рекомбинации электронно-дырочной пары не передается непосредственно продуктам десорбции. Таким образом, объяснение структуры ВП-спектра следует искать в энергетических особенностях оттапливательного термина десорбируемой частицы.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] М о и с е е н к о И.Ф., Г л е б о в с к и й А.А., Л и с а ч е н к о А.А. // Поверхность. Физика, химия, механика. 1987. В. 7. С. 116.
- [2] Б ы к о в с к и й Ю.А., П о т а п о в М.М., У к р а и н ц е в В.А., Ч и с т я к о в А.А. // Химия выс. энергий. 1987. Т. 21. С. 361.
- [3] М о и с е е н к о И.Ф., Л и с а ч е н к о А.А. // Поверхность. 1989. В. 7. С. 150.
- [4] Г л е б о в и ц к и й А.А., М о и с е е н к о И.Ф., Л и с а ч е н к о А.А. // Изв. АН СССР. Сер. физическая. Т. 53. В. 3. С. 568.
- [5] L o w n d e s D.N., W o o d R.F., W e s t - b r o o k R.D. // Appl. Phys. Lett. 1983. V. 43. N 3. P. 258.
- [6] A u s t o n D.N., S u r k o S.M., V e n k a t e s a n T.H.S., B l u s h e r R.E., G o l o v c h e n k o J.F. // Appl. Phys. Lett. 1978. V.33. N5. P.437
- [7] П и л и п о в и ч В.А., И в л е в Г.Д., Ж и д к о в В.В., М а л е в и ч В.Л. // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. В. 7. С. 594.
- [8] S t r i t z k e r B., P o s p i e s z c z u k A., T a g l e J.A. // Appl. Rev. Lett. 1981. V. 47. N 5. P. 356.

С.-Петербургский государственный университет

Поступило в Редакцию  
28 мая 1992 г.