

8. Granasy L., Lovas A., Kiss L. et al.//J. Magn. and Magn. Mat. 1982. 26. P. 109.
9. Novak L., Potocky L., Uliciansky S. et al.//Ibid. P. 118.
10. Lovas A., Kisdi-Koszo E., Zsoldos E. et al.//Material Sci. and Engineering. 1991. A133. P. 248.
11. Novakova A. A., Sidorova G. V., Kiseleva T. Yu.//Hyperfine Interactions. 1992. 73. P. 309.
12. Novakova A. A., Kiseleva T. Yu., Sidorova G. V.//Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. 1993. B76. P. 107.
13. Greer A. L.//Acta Metallurg. 1982. 30. P. 171.
14. Altuzar P., Valenzuela R.//Materials Lett. 1991. 11, N 3. P. 101.
15. Kiseleva T. Yu., Novakova A. A.//Proc. of IV Seeheim Workshop on Mössbauer Spectroscopy. Germany, Seeheim, 1994. P. 39.
16. Новакова А. А., Сидорова Г. В., Сиротинина Г. В.//ФММ. 1989. 68, № 6. С. 1162.
17. Koster U., Herold U., Hillenbrand H.-G., Denis J.//J. Material Sci. 1980. 15. P. 2125.
18. Марко П., Душа О., Потоцки Л. и др.//Поверхность: Физика, химия, механика. 1984. 3. С. 68.
19. Kronmüller H., Frank W., Horner A.//Material Sci. and Engineering. 1991. A133. P. 410.

Поступила в редакцию
01.07.94

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1995. Т. 36, № 3

УДК 621.315.592

ГЕНЕРАЦИЯ ДЕФЕКТОВ В GaAs ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ ДОПОРОГОВОЙ ЭНЕРГИИ

Р. В. Прудников, П. К. Кашкаров, В. Ю. Тимошенко

(кафедра общей физики и молекулярной электроники)

Исследованы вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики структур Au—GaAs, сформированных на поверхности арсенида галлия после облучения импульсами рубинового лазера с энергией меньше порога плавления поверхности. Зафиксировано образование дефектов в приповерхностной области полупроводника, что свидетельствует о снижении энергии активации образования центров при лазерном облучении.

Известно, что достаточно мощное импульсное лазерное облучение (ИЛО) в условиях межзонного поглощения вызывает формирование структурных дефектов в приповерхностных слоях полупроводников [1, 2]. В случае материалов A^3B^5 большинство исследователей регистрировали это явление для энергий импульсов W , превышающих порог плавления W_m [3, 4]. Однако в ряде работ методами резерфордовского обратного рассеяния [5] и фотолюминесценции [6] был установлен факт возникновения дефектов в GaAs при ИЛО в режиме $W < W_m$, когда помимо чисто теплового действия лазерного излучения можно ожидать существенного электронного и деформационного возбуждений поверхностной области образца [7]. В настоящей работе эффект допороговой лазерно-индуцируемой генерации дефектов в GaAs изучен электрофизическими методами, обладающими весьма высокой чувствительностью к состоянию поверхности кристалла [8].

Исследовались грани (100) n -GaAs, обработанные в травителе $H_2SO_4 + H_2O_2 + H_2O$ в пропорции 5:1:1. На поверхности как исходных, так и облученных образцов формировались структуры металл—полупроводник посредством вакуумного напыления золотых электродов площадью $S = 7,9 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$. ИЛО осуществлялось моноимпульсами рубинового лазера ОГМ-40 ($h\nu = 1,8 \text{ эВ}$, $\tau = 20 \text{ нс}$). Специальные меры

принимались для повышения однородности передачи энергии световой волны твердому телу. В результате использования специального диффузора вариации интенсивности в пределах светового пятна не превышали 10%. В широком диапазоне $0 < W \leq W_m = 200$ мДж/см² не фиксировалось появления каких-либо структур на поверхности GaAs [6]. Все измерения и облучение образцов проводились в вакууме $\sim 10^{-3}$ Па.

Измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) исходных структур свидетельствуют о формировании барьера Шоттки. Вид энергетической диаграммы, соответствующий обеднению приповерхностной области полупроводника основными носителями заряда, хорошо известен и для GaAs представлен, например, в [9]. По температурной зависимости тока насыщения I_0 была определена величина барьера $\phi^I = (0,90 \pm 0,05)$ эВ [8]. Вольт-фарадные характеристики (ВФХ) структур не зависели от частоты измерения ($10^2 - 10^5$ Гц) и хорошо спрямлялись в координатах $1/C^2$ и U (C — емкость, U — напряжение на структуре). Рассчитанные из этой зависимости концентрация доноров N_d приповерхностной области и встроенный потенциал V_i составлял $2 \cdot 10^{15}$ см⁻³ и $(0,80 \pm 0,01)$ В соответственно. Величина N_d позволяла вычислить положение уровня Ферми относительно края зоны проводимости $E_F = 0,13$ эВ. Таким образом, величина барьера по емкостным данным составляла $\phi^C = V_i + E_F = 0,93$ эВ, что весьма хорошо согласуется со значением ϕ^I , полученным из токовых измерений.

ИЛО уже при энергиях импульсов $W \ll W_m$ вызывало существенные изменения в ВАХ структур, сформированных на облученных поверхностях GaAs, по сравнению с исходными образцами (рис. 1). Так по данным рис. 1 были рассчитаны величины барьеров ϕ^I в зависимости от W . Использовалось соотношение $\phi^I = kT \cdot \ln(SA^*T^2/I_0)$, где S — площадь золотого контакта, T — температура, A^* — модифицированная константа Ричардсона [8]. Последняя выбиралась равной 8 А/см²·К² в соответствии с результатами измерения температурной зависимости I_0 для необлученных образцов. Заметное снижение величины ϕ^I (н

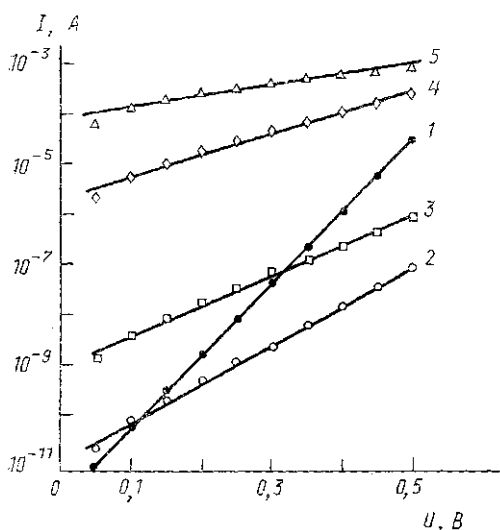


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики структур, сформированных на исходном (I) и облученных лазером образцах: энергия облучения равна 25 (2), 50 (3), 75 (4) и 100 (5) мДж/см²

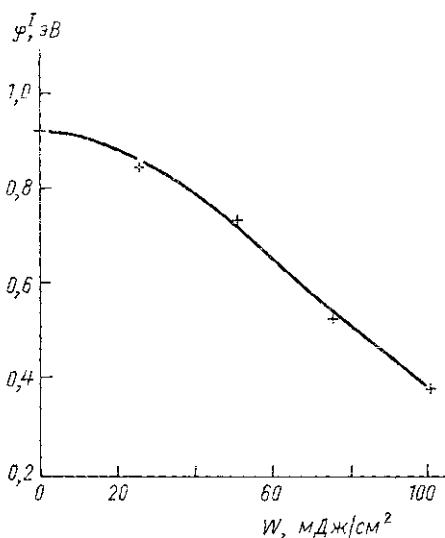


Рис. 2. Зависимость высоты барьера Шоттки от энергии ИЛО

0,08 эВ) фиксировалось уже при $W=25$ мДж/см². При $W=100$ мДж/см² эта разность составляла 0,55 эВ (рис. 2).

Модуляция емкости структуры внешним напряжением ослаблялась также при достаточно малых энергиях лазерного импульса ($W < 25$ мДж/см²). ИЛО с $W=75$ мДж/см² полностью устраняло указанную модуляцию. Помимо этого эффекта лазерное воздействие вызывало появление частотной дисперсии емкости барьеров Шоттки, особенно заметной в области малых частот (10^2 — 10^3 Гц) — рис. 3.

Важно отметить, что лазерно-индуцированные изменения характеристик структур металл—полупроводник являлись обратимыми для $W < W_m$. Действительно, прогрев при $T=400$ — 500 К приводил ВАХ и ВФХ барьеров Шоттки, сформированных на облученных поверхностях, к виду, близкому для случая исходных образцов.

Многочисленными экспериментами установлено, что параметры структур Au—GaAs, и в частности величина φ^i , главным образом определяются свойствами дефектов на границе раздела двух фаз (см., напр., [8, 10]). Поэтому снижение величины барьера φ^i вследствие ИЛО подложки мы связываем с генерацией дефектов на указанной границе. Этот же эффект объясняет ослабление модуляции емкости структуры внешним напряжением. Некоторой части возникающих при ИЛО состояний, по-видимому, соответствуют энергетические уровни вблизи уровня Ферми на границе раздела металл—полупроводник, причем времена обмена носителями заряда между этими состояниями и разрешенными зонами GaAs имеют порядок 10^{-3} — 10^{-2} с. Именно это обуславливает, на наш взгляд, появление частотной дисперсии емкости на облученных структурах (см. рис. 3).

Возникающие дефекты являются метастабильными атомными конфигурациями и, очевидно, не связаны с протеканием необратимых фото- и термохимических реакций на поверхности GaAs в момент ИЛО, например дополнительного окисления или испарения. Какие-либо определенные заключения о природе обсуждаемых дефектов из данных, полученных в настоящем исследовании, сделать невозможно. Выполненное нами ранее изучение спектров фотолюминесценции на облучаемых образцах [6], к сожалению, не позволило идентифицировать образующиеся при ИЛО GaAs центры с какими-либо известными из литературы. Данные резерфордовского обратного рассеяния свидетельствуют лишь о том, что возникающие в GaAs при допороговом ИЛО нарушения структуры являются точечными. Учитывая, что процесс формирования дефектов при ИЛО полупроводников носит «закалочный» характер [17], можно предположить, что преобладают в данном случае центры, характеризуемые наименьшими энергиями активации образования E_a . Таким центром в GaAs является антиструктурный дефект As_{Ga} , для которого расчет приводит к величине $E_a=0,7$ эВ [11] (энергия образования вакансий V_{Ga} и V_{As} составляет $\sim 2,6$ эВ [12]).

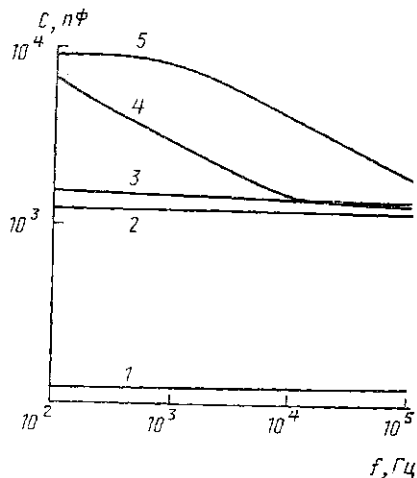


Рис. 3. Частотная зависимость емкости структур, сформированных на исходном (1) и облученных лазером образцах: энергия облучения равна 25 (2), 50 (3), 75 (4) и 100 (5) мДж/см²

Для выяснения соотношения различных факторов лазерного воздействия в дефектообразовании оценим возможную концентрацию N указанных выше антиструктурных дефектов, возникающих за счет термических флуктуаций при лазерном нагреве. Из нашего расчета температурных полей в GaAs следует, что для $W=25$ мДж/см² максимальная температура поверхности составляет ~ 400 К. Явно завышая оценку, предположим, что за время существования состояния с повышенной температурой (десятьки наносекунд) устанавливается равновесная концентрация дефектов. Тогда в соответствии с известными термодинамическими соотношениями [13] получаем $N \sim 4 \cdot 10^{13}$ см⁻³, что в пересчете на поверхностную плотность составляет $\sim 10^9$ см⁻². Эта величина заведомо меньше предела обнаружения для поверхности GaAs [14]. Наблюдаемое нами существенное изменение характеристик барьеров Шоттки при ИЛО может быть объяснено, на наш взгляд, двумя причинами: значительным снижением энергии активации образования дефектов E_a на поверхности или проявлением электронного и деформационного возбуждений, понижающих величину E_a [7]. Для разделения влияния указанных процессов необходимы дополнительные эксперименты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Laser Annealing of Semiconductors in Physical Processes in Laser-Material Interactions/Ed. M. Bertolotti. N. Y.; L., 1981.
2. Двуреченский А. В., Качурин Г. А., Нидаев Г. А., Смирнов Л. С. Импульсный отжиг полупроводников/М., 1982.
3. Lowndes D. H.//Semicond. and Semimet. 1984. 23. P. 471.
4. Карпов С. Ю., Ковальчук Ю. В., Погорельский Ю. В.//ФТП. 1986. 20, № 11. С. 1945.
5. Tulinov A. F., Chechenin N. G., Kashkarov P. K., Efimova A. I.//Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. 1988. 33, P. 844.
6. Ефимова А. И., Кашкаров П. К., Петров В. И., Тимошенко В. Ю.//Поверхность. Физика, химия, механика. 1990. № 8. С. 94.
7. Emel'janov V. I., Kashkarov P. K.//Appl. Phys. 1992. A55. P. 161.
8. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. Т. 2. М., 1984.
9. Scheer J. J., van Laar J.//Surf. Sci. 1969. 18. P. 130.
10. Spicer W. E., Lindau T., Skeath P., Su C. Y.//J. Vac. Sci. Technol. 1980. 17, N 5. P. 1019.
11. Milnes A. G.//Adv. in Electronics and Electron Physics. 1983. 61. P. 64.
12. Машовед Т. В.//ФТП. 1982. 16, № 1. С. 3.
13. Болтакс Б. И. Диффузия и точечные дефекты в полупроводниках. Л., 1972.
14. Physics and Chemistry of III—V Compound Semiconductor Interface/Ed. C. W. Wilmsen. N. Y.; L., 1985.

Поступила в редакцию
22.06.94

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1995. Т. 36, № 3

УДК 538.245

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ

А. И. Акимов, Л. М. Коренкова, Т. Н. Легова, И. М. Сараева, Н. Н. Шумихина
(кафедра общей физики)

Монокристаллические пленки состава $(YSmCa)_3(FeGe)_5O_{12}$ облучались импульсом рубинового лазера длительностью 25 нс с длиной волны $\lambda=347$ нм. Максимальная освещенность при диаметре пучка 6 мм составляла 10^7 Вт/см². Магнитные параметры пленок: намагниченность M_s , константы анизотропии (одноосной, K_u , и кристаллографической, K_1) измерялись на торсионном магнитометре. Облучение привело к увеличению M_s и K_u , которое при дозе (0,13—0,16) Дж/см² составило 25 и 18%