

06; 10; 11

© 1992

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ
ДЛЯ ФОТОЭМИССИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОНОВВ.Л. Альперович, Ю.Б. Болохвитянов,
А.Г. Паулиш, А.С. Терехов

Источники электронов на основе полупроводниковых фотокатодов с отрицательным электронным средством (ОЭС) широко используются в физике высоких энергий, атомной физике и физике твердого тела [1-7]. Большинство источников выполнено на арсениде галлия, для которого методы выращивания, очистки поверхности и ее активирования до состояния с ОЭС хорошо отработаны [1-5, 8]. Представляет интерес использование прямозонных полупроводников, являющихся твердыми растворами соединений A_3B_5 , с большей, по сравнению с $GaAs$, шириной запрещенной зоны E_g . Такие полупроводники, сохраняя преимущества $GaAs$, должны обладать большей величиной ОЭС [9] и, возможно, большей стабильностью активирующего покрытия. Кроме того, изменением состава твердого раствора можно подстроить величину E_g под длину волны неперестраиваемого лазера, снизив стоимость источника электронов. В настоящее время для источников спин-поляризованных электронов используются твердые растворы $GaAsP$ [10, 11]. Выращивание совершенных эпитаксиальных слоев $GaAsP$ затруднено из-за несогласования постоянных решеток этого материала и подложки из $GaAs$ или GaP . В данной работе предложен новый материал для фотоэмиссионного источника электронов - твердые растворы $InGaAsP$, выращенные на $GaAs$ -подложках [12], показана большая стабильность их активирующего покрытия по сравнению с активирующим покрытием галлия. В режиме периодического подщезирования получен ток эмиссии $I \approx 0.5$ мА с характерным временем спада сотни часов.

Твердые растворы р-типа, легированные Zn до концентрации 5×10^{18} см⁻³, выращивались методом жидкофазной эпитаксии на подложках бездислокационного $GaAs$ по режимам, описанным в [13]. Очистка поверхности включала обработку раствором HCl в изопропиловом спирте, проводившуюся в боксе с сухим азотом, перегрузку (без контакта с лабораторной атмосферой) в сверхвысоковакуумную камеру с использованием шлюза, и последующую термоочистку [8, 14]. Цезий и кислород получались разложением хромата цезия и перекиси бария соответственно. Для получения максимального фототока в качестве источника света использовалась газоразрядная ксеноновая лампа, а для активирования и измерения

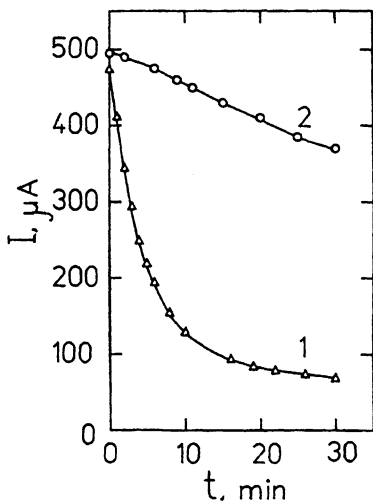


Рис. 1. Деградация фототока со временем при освещении ксеноновой лампой после четвертого подцезирования: 1 - ρ - $GaAs$ (100), 2 - твердый раствор ρ - $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$ ($x=0.46$, $y=0.06$), выращенный на подложке $GaAs$ (111)A.

спектров фотоэмиссии - монохроматор с лампой накаливания. При использовании ксеноновой лампы максимальная мощность падающего на фотокатод света в полосе собственного поглощения полупроводника составляла ≈ 20 мВт в пятне диаметром ≈ 4 мм. Коллектором электронов служило кольцо из нержавеющей стали диаметром 20 мм, установленное на расстоянии 10 мм от поверхности образца.

Активирование $GaAs$ и твердых растворов с $E_g=1.795-1.895$ эВ до состояния с ОЭС проводилось по обычной технологии [2]. Для обоих материалов последовательным нанесением Cs и O_2 достигался примерно одинаковый квантовый выход $\gamma_{max}=15-25\%$ при энергии фотонов, на 50 мэВ превышающих ширину запрещенной зоны. Значительные отличия состояли в том, что если для $GaAs$ при нанесении только Cs квантовый выход не превышал $\gamma_1 \approx \approx 0.005 \times \gamma_{max}$, то для твердых растворов $InGaAsP$ он достигал $\gamma_1 \approx (0.3-0.5) \times \gamma_{max}$. Наряду с видом спектра фотоэмиссии $\gamma(\hbar\omega)$, это подтверждает возможность получения отрицательного электронного сродства на широкозонных полупроводниках нанесением одного только цезия, без кислорода. Приводимые ниже результаты относятся к оптимально активированной цезием и кислородом поверхности $GaAs$ и активированной только цезием поверхности $InGaAsP$.

После активирования происходило уменьшение квантового выхода, обусловленное, по-видимому, влиянием остаточной атмосферы

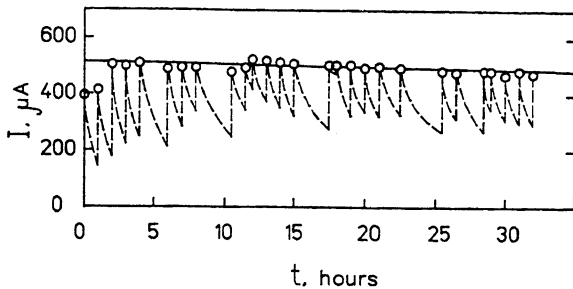


Рис. 2. Зависимость тока фотоэмиссии от времени $In_{0.46}Ga_{0.54}As_{0.06}Po_{0.34}$ при многократном восстановлении чувствительности фотокатода с помощью подцезирования (штриховая линия). Нанесению цезия соответствуют вертикальные отрезки штриховой линии. Сплошная линия представляет собой экспоненту с характерным временем затухания $\tau = 600$ ч, проведенную методом наименьших квадратов через измеренные максимумы фототока (кружки) в каждом цикле.

на активирующее покрытие. Полное давление в камере не превышало $5 \cdot 10^{-9}$ Па. При малых токах фотоэмиссии ($I \leq 10$ мкА), независимо от интенсивности освещения, время жизни фотокатодов τ , соответствующее уменьшению тока фотоэмиссии в e раз, составляло, по оценке, ≈ 100 ч. Увеличение фототока до $I \approx 1$ мА (при увеличении интенсивности света и соответствующем выборе напряжения на коллекторе $V_c \approx 300$ В для полного сбора фотоэмиттированных электронов) приводило к уменьшению τ до десятков минут. Скорость деградации возрастала также при увеличении V_c при постоянном фототоке на участке насыщения зависимости фототока от напряжения на коллекторе. Полученные данные свидетельствуют о том, что доминирующим механизмом деградации при больших токах является травление активирующего покрытия продуктами, десорбирующими с коллектора в результате его бомбардировки электронами.

Мы сопоставляли зависимости тока фотоэмиссии от времени для $p-GaAs$ (100) и для твердых растворов $p-In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$ с E_g от 1.88 эВ до 1.92 эВ. Первоначально $GaAs$ активировался цезием и кислородом, а твердый раствор — только цезием. Установлено, что чисто цезиевое активирующее покрытие твердого раствора более стабильно и лучше восстанавливается при дополнительном цезировании по сравнению с цезий-кислородным покрытием. Зависимости фототока от времени для $GaAs$ и $InGaAsP$ при интенсивности освещения 20 мВт и $V_c = 300$ В показаны на рис. 1. Видно, что скорость деградации (Cs, O) -активирующего покрытия на арсениде галлия выше, чем Cs -активирующего покрытия на твердом растворе. После каждого интервала времени $\Delta t \approx 30-60$ мин, в течение которого происходил отбор фототока, проводилось допол-

нительное нанесение цезия, которое восстанавливало величину фототока. Зависимость фототока от времени при многократном повторении цикла деградация-подцезирование показана на рис. 2. Зависимость на рис. 2 измерялась в течение трех рабочих дней. Ночные двенадцатичасовые перерывы на оси абсцисс не показаны. Видно, что время жизни после каждого подцезирования практически не изменяется, но величина максимумов фототока уменьшается со временем. Соответствующая экспонента с характерным временем затухания $\tau = 600 \pm 100$ ч, проведенная методом наименьших квадратов через измеренные максимумы фототока в каждом цикле, показана сплошной линией на рис. 2.

Таким образом, в данной работе установлено, что в отличие от арсенида галлия, твердые растворы могут быть проактивированы до состояния ОЭС цезием (без добавления кислорода), и при этом обладают большей стабильностью: ток фотоэмиссии медленнее деградирует и лучше восстанавливается при дополнительном цезировании. Использование оптимальной конструкции источника электронов [2], исключаяющей почти полностью электронно-стимулированную десорбцию с электронной оптики, будет способствовать дальнейшему существенному увеличению срока службы. Отметим, что активирование твердых растворов $InGaAsP$ с различными ориентациями (100), (111)A, (111)B, дало одинаковые по порядку величины времени жизни и значения квантового выхода (токи эмиссии от 0.5 до 1 мА с нашим источником света). Перспективность использования твердых растворов $InGaAsP/GaAs$ связана также с возможностью механических напряжений, возникающих за счет несогласования параметров кристаллической решетки пленки и подложки при изменении состава твердого раствора [12]. Это позволяет, в принципе, повысить степень спиновой поляризации фотоэлектронов [6, 7].

Работа выполнена при частичной поддержке фонда „Сорос-ННЦ“.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Белл Р.Л. Эмиттеры с отрицательным электронным средством. М.: Энергия, 1978. 192 с.
- [2] Pierce D.T., Celotta R.J., Wang G.-G., Unertl W.N., Galejs A., Kuyatt C.E., Mielczurek S.R. // Rev. Sci. Instrum. 1980. V. 51. N. 4. P. 478-499.
- [3] Kolac U., Donath M., Ertl K., Liebl H., Dose V. // Rev. Sci. Instrum. 1988. V. 59. N. 9. P. 1933-1940.
- [4] Guo X.Q., Growe D.M., Lubell M.S., Tang F.C., Vasilikis A., Eminyan M., Slewin J. // Rev. Sci. Instrum. 1990. V. 61. N 7. P. 1858-1862.

- [5] Calabrese R., Guidi V., Lamanna G., Tescchio L. // J. Phys. III France. 1992. V. 2. N 3. P. 473-480.
- [6] Nakanishi T., Aoyagi H., Horinaka H., Kamiya Y., Kato T., Nakamura S., Sakata T., Tsubata M. // Phys. Lett. A. 1991. V. 158. N 6-7. P. 345-349.
- [7] Maruyama T., Garwin E.L., Prepost R., Zapalac G.H., Smith J.C., Walker J.D. // Phys. Rev. Lett. 1991. V. 66. N 18. P. 2376-2379.
- [8] Болохвитянов Ю.Б., Морозов Б.В., Паулиш А.Г., Суранов А.С., Терехов А.С., Хайри Е.Х., Шевелев С.В. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 7. С. 25-29.
- [9] Escher J.S., Antypas G.A. // Appl. Phys. Lett. 1977. V. 30. N 7. P. 314-316.
- [10] Kirschner J., Oepen H.P., Ibach H. // Appl. Phys. A. 1983. V. 30. P. 177-183.
- [11] Hartmann W., Conrath D., Gasteyer W., Gessinger H.J., Heil W., Kessler H., Koch L., Reichert E., Andresen H.G., Kettner T., Wagner B., Ahrens J., Jethwa J., Schaffer F.P. // Nucl. Instrum. and Meth. Phys. Res. A. 1990. V. 286. N 1-2. P. 1-8.
- [12] Кейси Х., Паниш М. Лазеры на гетероструктурах. Т. 2. М.: Мир, 1981. 364 с.
- [13] Volkhovityanov Yu.B., Volkhovityanova R.I., Chikichev S.I. // J. Electron. Mater. 1983. N. 3. P. 525-550.
- [14] Галицын Ю.Г., Мансуров В.Г., Пошевин В.И., Терехов А.С. // Поверхность. 1989. В. 10. С. 140-142.

Институт физики полупроводников
СО РАН, Новосибирск

Поступило в Редакцию
1 ноября 1992 г.