

8 до 240 с), т.е. данный режим позволяет осуществить накопленные сигнала без какого-либо возрастания шума.

Напротив, при записи в условиях сильного энергообмена быстрое возрастание сигнала (за те же 240 секунд сигнал возрастает не в 30, а в 3000 раз) неизбежно сопровождается записью шумовых голограмм (шум накапливается вместе с сигналом), так что шумовые характеристики в режиме усиления оказываются почти на порядок хуже (рис. 2,в).

Приведенные результаты показывают, что метод поляризационного выделения сигнала с приложением к кристаллу внешнего поля может быть с успехом использован в голографических интерферометрах на фоторефрактивных кристаллах, что позволит увеличить размеры исследуемых объектов.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] H u i g n a r d J.P., M a r r a k s h i A. // Opt. Lett. 1981. V. 6. N 12. P. 622-624.
- [2] K a m s h i l i n A.A., P e t r o v M.P. // Opt. Commun. 1985. V. 53. N 1. P. 23-26.
- [3] Т р о ф и м о в Г.С., С т е п а н о в С.И. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 10. С. 615-621.
- [4] К а м ш и л и н А.А., М о к р у ш и н а Е.В. // ЖТФ. 1989. Т. 59. В. 4. С. 178-180.

Физико-технический  
институт им. А.Ф. Иоффе  
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию  
5 февраля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 9

12 мая 1990 г.

06.1; 06.2; 12

© 1990

БАРЬЕРЫ ШОТТКИ НА АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ,  
ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ОБРАБОТАННОМ  
В ПАРАХ СЕЛЕНА

Б.И. С ы с о е в, В.Д. С т р ы г и н,  
Г.И. К о т о в

Металлы с различной работой выхода ( $\phi_M$ ) дают почти одинаковой высоты барьеры Шоттки ( $\phi_B$ ) на арсениде галлия. Это обстоятельство связывают с наличием большой плотности поверхностных состояний ( $D_g$ ), которая обуславливает закрепление уровня

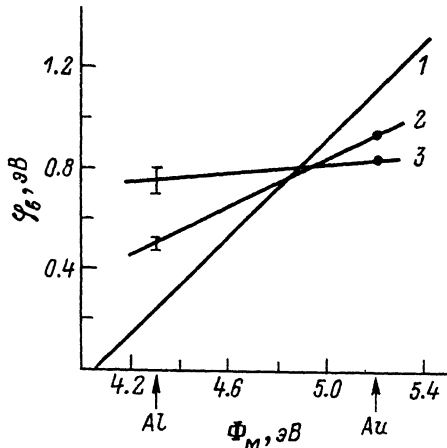


Рис. 1. Зависимость высоты барьера Шоттки от работы выхода металла на  $n$ -GaAs: идеальная по Шоттки (1), обработанном в парах селена (2), необработанном в парах селена (3).

Ферми на поверхности вблизи 0.75 эВ над валентной зоной ( $E_V$ ) для арсенида галлия  $n$ -типа и 0.5 эВ над  $E_V$  для  $p$ -типа [1-4].

С целью уменьшения  $D_S$  авторами работ [5-9] были использованы различные фотохимические и химические обработки поверхности арсенида галлия. В работе [10] продемонстрирована зависимость  $\phi_B$  от  $\Phi_M$  после обработки арсенида галлия в растворе  $(NH_4)_2S$ . Проявление наблюдавшейся зависимости авторы связывают с уменьшением  $D_S$  после обработки арсенида галлия в растворе  $(NH_4)_2S$ . В работе [11] авторы сообщали о низкой  $D_S$  в гетероструктурах  $Ga_2Se_3$ -GaAs, сформированных гетеровалентным замещением мышьяка селеном при термической обработке подложек GaAs в парах селена. Приведенные факты позволили предположить эффективность предварительной обработки подложек GaAs в парах селена с целью уменьшения  $D_S$  и создания в последующем барьеров Шоттки с открепленным уровнем Ферми.

Структуры с барьером Шоттки формировали на подложках GaAs (Ш)  $n$ -типа (концентрация легирующей примеси  $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ). Перед обработкой подложек GaAs в парах селена удаляли нарушенный слой травлением в растворе  $H_2SO_4 : H_2O_2 : H_2O = 5 : 1 : 1$ , после отмывки погружали в раствор  $HCl : H_2O = 1 : 10$ . Отмытые и высушенные подложки помещали в квазизамкнутый реактор с „горячими стенками“, размещенный в рабочем объеме вакуумной установки и выдерживали при температуре  $T = 626 \text{ K}$  и парциальном давлении паров селена 1.5 Па в течение 5 минут. На обработанные таким образом подложки GaAs напыляли через маску ме-

Способ обработки	Металл	$\Phi_M, \text{эВ}$	$\varphi_{\text{ВП}} - \Delta\varphi, \text{эВ}$	$n$	$J_s, \text{А} \cdot \text{см}^{-2}$
Травление	Al	4.3	0.75	1.042	$9 \cdot 10^{-8}$
Травление + Se <sub>2</sub>	Al	4.3	0.50	1.015	$1.8 \cdot 10^{-3}$
Травление	Au	5.2	0.84	1.24	$2.6 \cdot 10^{-9}$
Травление + Se <sub>2</sub>	Au	5.2	0.94	1.18	$4.9 \cdot 10^{-11}$

таллические контакты из алюминия и золота. Для сравнения изготавливали структуры с барьером Шоттки на необработанных подложках. Площадь металлических контактов равна  $2.5 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-2}$ . Полученные структуры исследовали с помощью методов вольт-фарадных (ВФХ) и вольт-амперных (ВАХ) характеристик.

Анализ вольт-амперных характеристик осуществлялся в рамках термоионной эмиссионной теории [12]:

$$J = J_s \cdot \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{qV}{kT}\right)\right],$$

где

$$J_s = A^* \cdot T^2 \exp\left(-\frac{q}{kT}(\varphi_{\text{ВП}} - \Delta\varphi)\right) - \text{ток насыщения,}$$

$A^*$  - постоянная Ричардсона ( $8.16 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{К}^{-2}$  для  $n$ -GaAs),  
 $(\varphi_{\text{ВП}} - \Delta\varphi)$  - эффективная высота барьера Шоттки.

Значения эффективной высоты барьера Шоттки вычислялись с помощью выражения

$$(\varphi_{\text{ВП}} - \Delta\varphi) = \frac{kT}{q} \cdot \ln \frac{A^* \cdot T^2}{J_s}.$$

Зависимость высоты барьера Шоттки от работы выхода металла в идеальном случае (т.е.  $D_s \rightarrow 0$ ) описывается выражением [13]:  
 $q\varphi_{\text{ВП}} = q(\Phi_M - \chi)$  - для  $n$ -типа полупроводников,  $\chi$  - средство полупроводника к электрону.

В таблице приведены экспериментальные значения эффективной высоты барьера Шоттки ( $\varphi_{\text{ВП}} - \Delta\varphi$ ), коэффициента идеальности ( $n$ ), плотности тока ( $J_s$ ).

Приведенные на рис. 1 экспериментальные зависимости высоты барьера Шоттки от работы выхода металла хорошо иллюстрируют то, что обработка поверхности подложек GaAs в парах селена приближает ее к идеальной, что позволяет говорить о снижении плотности поверхностных состояний.

На рис. 2 приведены экспериментальные зависимости изменения высоты барьеров от продолжительности обработки подложек GaAs. Процессы продолжительностью до 15 минут при температурах подложки от 626 до 661 К уменьшают высоту барьеров в

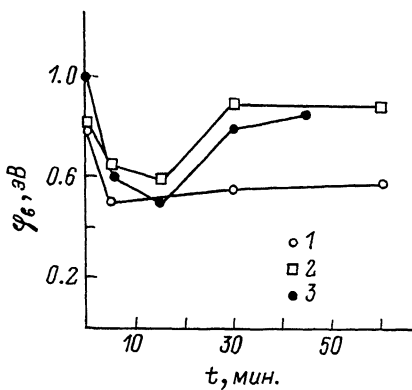


Рис. 2. Зависимость изменения высоты барьеров от продолжительности процесса обработки подложек *n-GaAs* в парах селена ( $p_{Se} = 1.5$  Па) при 626 К (1), 645 К (2), 661 К (3).

структурах *Al-GaAs* до 0.50–0.61 эВ. Дальнейшее увеличение продолжительности процесса обработки до 30 минут и более приводит к возрастанию высоты барьеров до 0.8–0.9 эВ при температуре подложки *GaAs* 645 и 661 К и лишь до 0.58 эВ при температуре подложки 626 К.

Для структур с туннельно-прозрачными слоями, т.е. когда значения высоты барьера Шоттки, определенные из прямых и обратных ВАХ и ВФХ, равны; возможна количественная оценка плотности поверхностных состояний. Такая оценка может быть осуществлена при помощи соотношения Коули и Зи [14]:

$$\varphi_{вп} = \gamma(\varphi_M - \chi) + (1 - \gamma) \cdot (E_g - \varphi_0),$$

$$\gamma = \frac{\epsilon_i}{\epsilon_i + q^2 \cdot \delta \cdot D_s},$$

где  $\delta$  — толщина промежуточного слоя, Å;  $\epsilon_i$  — диэлектрическая константа промежуточного слоя;  $D_s$  — плотность поверхностных состояний;  $\chi$  — сродство полупроводника к электрону;  $\varphi_M$  — работа выхода металла;  $\varphi_0$  — нейтральный энергетический уровень на поверхности. Для проведения сравнительных оценок  $D_s$  для обработанных и для необработанных подложек *GaAs* допустим: толщина промежуточных слоев в обоих случаях одинакова и равна  $\sim 5$  Å, тогда диэлектрическая константа этих слоев равна 1. Вычисленная таким образом плотность поверхностных состояний равна: для необработанных подложек *GaAs*  $1.2 \cdot 10^{14}$  эВ<sup>-1</sup>·см<sup>-2</sup>, для обработанных —  $1.4 \cdot 10^{13}$  эВ<sup>-1</sup>·см<sup>-2</sup>.

В заключение хотим сказать, что обработка подложек в парах селена приводит к снижению плотности поверхностных состояний

на порядок, что делает барьер Шоттки более чувствительным к работе выхода металлов.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Mead C.A., Spitzer W.G. // Phys. Rev. 1964. V. 134. P. 713.
- [2] Spicer W.E., Lindau I., Skeath D., Su C.Y. // J. Vac. Sci. Technol. 1980. V. 17. P. 1019.
- [3] Waldrop I.R. // Appl. Phys. Lett. 1984. V. 44. P. 1002.
- [4] Waldrop I.R. // J. Vac. Sci. Technol. 1984. V. 2(3). P. 445.
- [5] Offsey S.D., Woodall I.M., Warren A.C., Kirchner P.D., Chappell T.I., Pettit G.D. // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 48. P. 475.
- [6] Sandroff C.I., Nottenburg R.N., Bischaff J.C., Brat R. // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 51. P. 33.
- [7] Yablonoich E., Sandroff C.I., Bhat R., Gmitter T.I. // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 51. P. 493.
- [8] Skromme B.I., Sandroff C.I., Yablonoich E., Gmitter T.I. // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 51. P. 2022.
- [9] Nottenburg R.N., Sandroff C.I., Humphrey D.A., Holembek T.H., Bhat R. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 52. P. 218.
- [10] Carpenter M.S., Melloch M.R., Dungan T.E. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 53. P. 66.
- [11] Сысоев Б.И., Антюшин В.Ф., Стрыгин В.Д. // Поверхность. Физика, химия, механика. 1986. № 2. С. 148-150.
- [12] Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов / Под ред. Р.А. Суриса. М.: Мир, 1984. Т. 1. С. 455.
- [13] Schottky W. // Phys. 1942. V. 118. P. 539.
- [14] Cowley A.M., Sze S.M. // J. Appl. Phys. 1965. V. 46. P. 3212.

Поступило в Редакцию  
29 января 1990 г.