

Оценка при плотности состояний $\sim 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{эВ}^{-1}$ подтверждает такую возможность.

Таким образом, предложенная теоретическая модель [5] хорошо согласуется с экспериментальными результатами при учете полевой нестабильности заряда в диэлектрических пленках на антимолибдате индия и возможного вклада поверхностных состояний в величину напряжения плоских зон МДП структур.

Л и т е р а т у р а

- [1] Margalit S., Shappir J., Kidron I. // J. Appl. Phys. 1975. V. 46. N 9. P. 3999—4001.
 [2] Margalit S., Shappir J. // Sol. St. Electron. 1976. V. 19. N 9. P. 789—794.
 [3] Fujisada H., Sasase T. // Japan. J. Appl. Phys. 1984. V. 23. N 3. P. L162—L164.
 [4] Fujisada H., Kawada M. // Japan. J. Appl. Phys. 1985. V. 24. N 2. P. L76—L78.
 [5] Кернер Б. С., Осипов В. В., Смолин О. В., Суханов А. И., Таубкин И. И. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 9. С. 1739—1742.
 [6] Зи С. Физика полупроводниковых приборов. Т. 1. М., 1984. 456 с.
 [7] Давыдов В. Н. // Изв. вузов СССР. Физика. 1982. № 8. С. 127.

Получено 11.07.1988
 Принято к печати 21.10.1988

ФТП, том 23, вып. 3, 1989

ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНТАКТОВ Pd—GaAs, ПОДВЕРГНУТЫХ ЛАЗЕРНОМУ ОТЖИГУ

Воронков В. П., Вяткин А. П., Иванов Б. В.,
 Кулешов С. М., Рухадзе З. А.

В настоящее время в литературе имеется достаточно большое количество работ по лазерному отжигу контактов металл—полупроводник, в которых рассматриваются проблемы импульсного сплавления металла с полупроводниковой подложкой [1—3]. В то же время вопросы структурных превращений и связанное с ними изменение электрических свойств контактов, подвергнутых импульсному лазерному отжигу, практически не изучены. В данной работе ис-

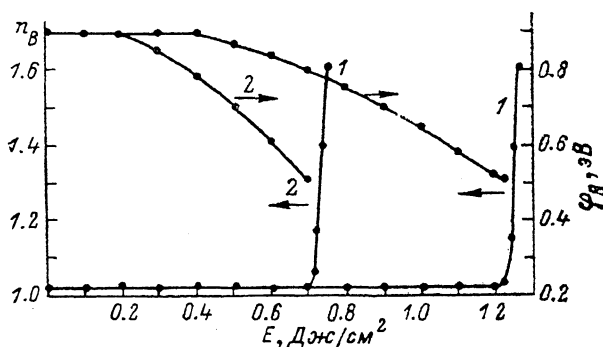


Рис. 1. Зависимость высоты потенциального барьера и коэффициента неидеальности от энергии лазерного отжига.

Облучение со стороны: 1 — Pd, 2 — GaAs; $\tau = 10^{-6}$ с.

следовано влияние импульсного лазерного отжига на структуру и вольтамперные характеристики контакта Pd—GaAs. Выбор этой контактной структуры обусловлен ее широким применением в дискретных приборах и интегральных схемах.

В эксперименте использовалось лазерное излучение с длиной волны 1.06 мкм и длительностью импульса 10^{-6} с. В качестве исходных образцов использова-

лись эпитаксиальный арсенид галлия электронного типа проводимости с концентрацией $(1 \div 3) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и дырочный арсенид галлия с концентрацией $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Пленки палладия толщиной 0.5 мкм осаждались электрохимическим способом в окна, вытравленные в SiO_2 . Использование проникающего для арсенида галлия излучения с длиной волны 1.06 мкм позволяло отжигать образцы как со стороны металла, так и со стороны арсенида галлия.

Результаты проведенных исследований показали, что изменение электрических характеристик контактов Pd—GaAs в зависимости от плотности энергии в импульсе лазерного излучения носит пороговый характер. Увеличение энергии отжига выше $E > 0.2 \text{ Дж/см}^2$ приводит к росту обратного тока контакта, однако напряжение пробоя при этом остается неизменным. Резкое уменьшение напряжения пробоя и потеря выпрямляющих свойств контакта происходят при критических энергиях отжига $E > 2 \text{ Дж/см}^2$. В прямой ветви вольтамперной характеристики лазерный отжиг с энергией выше пороговой вызывает монотонное напряжение отсечки. Экспериментально полученная зависимость высоты потенциального барьера контакта от энергии отжига показана на рис. 1. Значение высоты потенциального барьера контакта φ_B определялось из вольтамперных характеристик экстраполяцией логарифмической кривой $\ln I = f(V)$ к $V=0$. Высота потенциального барьера для контактов палладий—арсенид галлия уменьшается с ростом энергии отжига от исходного значения 0.9 до 0 эВ, в то время как для контактных структур на дырочном арсениде галлия высота

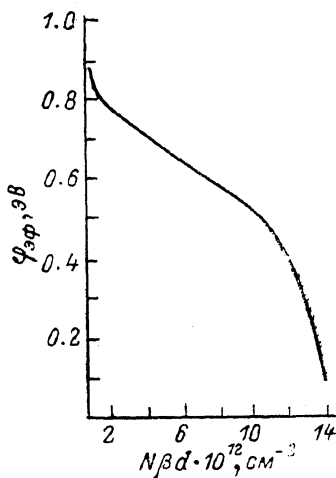


Рис. 2. Расчетная зависимость эффективной высоты потенциального барьера $\varphi_{\text{эф}}$ от параметра $N\beta d$.

барьера растет от 0.48 до 0.8 эВ. Наблюдается зависимость пороговой энергии снижения барьера от способа облучения образца. Облучение со стороны арсенида галлия, когда поглощение излучения происходит непосредственно на границе металл—полупроводник, снижает пороговую энергию по сравнению с облучением со стороны металла (рис. 1). Коэффициент неидеальности в прямой ветви вольтамперной характеристики структур, подвергнутых лазерному отжигу, сохраняет значение, близкое к единице, при понижении высоты потенциального барьера до 0.5 эВ (рис. 1). Дальнейшее повышение энергии отжига приводит вместе с понижением высоты барьера к росту коэффициента неидеальности.

В соответствии с тепловой моделью лазерного отжига расчетная температура контакта при энергиях, когда происходит снижение высоты потенциального барьера, не превышает 600 °C. В то же время в работе [4] показано, что тепловой нагрев до 600 °C контакта Pd—GaAs практически не изменяет высоту потенциального барьера и соответственно вид вольтамперной характеристики контакта. Особенность импульсного лазерного отжига заключается в резкой неравновесности процесса, в результате которого формируется структура, отличная от структур, получаемых в равновесных условиях теплового отжига. Анализ профилей элементного состава, получаемых методом оже-спектроскопии, показывает, что наиболее существенным отличием является то, что под действием импульсного лазерного отжига происходит внедрение непрореагировавшего палладия в арсенид галлия, тогда как при тепловом нагреве до $T \geq 350 \text{ °C}$ палладий присутствует в арсениде галлия только в виде химических соединений с Ga и As [5]. Внедрение в поверхностный слой арсенида галлия атомов палладия с концентрацией N и коэффициентом их электрической активности β создает поверхностное поле $E_s = 2qN\beta d/\epsilon$, которое изменяет ход потенциала в полупроводнике. При резком изгибе зон для толщин легированного слоя $d \leq 10^{-6} \text{ см}$ и концентраций $N\beta \geq 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ основным механизмом переноса заряда через

барьер является термополевая эмиссия. Эффективная высота потенциального барьера при этом снижается за счет туннельного прохождения носителей заряда сквозь барьер. Ток через барьер в этом случае определяется произведением количества носителей заряда, прошедших к барьеру $N(u)$, на вероятность туннелирования их сквозь барьер $P(u)$ [6]:

$$I = q \int_0^{q\varphi + 2qE_S x} N(u) P(u) du. \quad (1)$$

С учетом туннелирования сквозь треугольный барьер выражение для тока (1) имеет вид

$$I = \frac{4\pi q m^* (kT)^2}{h^3} \exp\left(-\frac{q\varphi}{kT}\right) \exp\left(\frac{4\sqrt{m^*} \Delta E^{3/2}}{3q\hbar E_S}\right) (e^{qV/nkT} - 1), \quad (2)$$

где m^* — эффективная масса электрона, ΔE — высота треугольного барьера.

Плотность тока через барьер является функцией поверхностного поля и в конечном итоге определяется значениями толщины и концентрации легированного слоя. Эффективная высота потенциального барьера определялась из расчетного значения I (2). На рис. 2 представлена расчетная зависимость эффективной высоты потенциального барьера от параметра $N\beta d$. Увеличение параметра $N\beta d$, которое происходит с увеличением энергии лазерного отжига, уменьшает эффективную высоту барьера до нуля. Эффективная высота потенциального барьера зависит от величины и знака поверхностного поля. При внедрении примеси того же знака, что и в исходном полупроводнике, эффективная высота потенциального барьера снижается; если примесь противоположного знака, то она повышается. В известной нам литературе нет данных о поведении палладия в арсениде галлия. Наши экспериментальные результаты показывают, что при лазерной имплантации палладий, проявляя донорные свойства в арсениде галлия, понижает эффективную высоту потенциального барьера на электронном арсениде галлия и повышает на дырочном.

Таким образом, импульсный лазерный отжиг контактов Pd—GaAs приводит к изменению высоты потенциального барьера контактной структуры. Изменение эффективной высоты потенциального барьера вызвано появлением тонкого поверхностного слоя арсенида галлия, легированного палладием, в области пространственного заряда контактной структуры.

Л и т е р а т у р а

- [1] Готра Э. Ю., Осередько С. А. // Зарубежн. электрон. техн. 1985. № 12. С. 3—53.
- [2] Shald M. A., Topham P. J., Sealy B. J., Puttick U. E. // J. Mat. Sci. 1984. V. 19. N 7. P. 2361—2367.
- [3] Poate J. M., Leamy H. J., Sheng T. T., Geller G. K. // Appl. Phys. Lett. 1978. V. 33. N 11. P. 918—920.
- [4] Вяткин А. П., Максимова Н. К. // Изв. вузов СССР. Физика. 1983. № 10. С. 96—108.
- [5] Kuen T. S., Freonj J. L., Batson P. E., Wilkie E. L. // J. Appl. Phys. 1985. V. 56. N 4. P. 1519—1526.
- [6] Shanon J. M. // Sol. St. Electron, 1976. V. 19. N 6. P. 537—543.

Сибирский физико-технический институт
им. В. Д. Кузнецова при ТГУ
Томск

Получено 8.04.1988
Принято к печати 27.10.1988