

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТАКТОВ Pd—GaAs, ПОДВЕРГНУТЫХ ЛАЗЕРНОМУ ОТЖИГУ

Воронков В. П., Вяткин А. П., Кулешов С. М., Муленков С. Ю.

Исследована температурная зависимость вольт-амперных характеристик контактов Pd—GaAs, подвергнутых импульсному лазерному отжигу. Отжиг осуществлялся лазерным излучением с длиной волны 1.06 мкм и длительностью 10^{-3} с в диапазоне энергий $20 \div 60$ Дж/см².

Действие импульсного лазерного отжига приводило к плавному переходу от термоэмиссионного механизма переноса носителей заряда через барьер к термополевоому. Увеличение туннельной составляющей прямого тока и понижение эффективной высоты барьера вызваны появлением тонкого высоколегированного слоя GaAs на границе раздела в результате лазерного отжига.

Проведенные ранее исследования показали, что действие лазерного отжига на контактные структуры Pd—GaAs приводит к сложным физико-химическим явлениям, протекающим на границе раздела металл—полупроводник [1]. Стимулированная лазерным излучением взаимная диффузия контактируемых элементов, а также фазовые превращения на границе раздела формируют контактные структуры, значительно отличающиеся по своим свойствам от исходных. Изменения структуры контакта под действием лазерного отжига вызывают изменение его электрических характеристик. Для контролируемого управления свойствами барьера Шоттки необходимо исследование взаимосвязи структурных изменений с электрическими характеристиками контакта с механизмом переноса носителей заряда через барьер, сформированный лазерным отжигом.

В данной работе приведены результаты исследования температурных зависимостей вольт-амперных характеристик контактов Pd—GaAs, подвергнутых лазерному отжигу.

Для отжига использовалось лазерное излучение с длиной волны 1.06 мкм и длительностью импульса 10^{-3} с. В качестве исходных образцов использовался эпитаксиальный арсенид галлия электронного типа проводимости с концентрацией носителей заряда $(2 \div 3) \cdot 10^{15}$ см⁻³. Пленки палладия толщиной 0.5 мкм осаждались электрохимическим способом в окна, вытравленные в защитном слое.

Для исследования вольт-амперных характеристик и их температурных зависимостей исходные диодные структуры были разделены на две группы по виду вольт-амперных характеристик. К первой группе относились диоды, имеющие «идеальные» вольт-амперные характеристики с коэффициентом неидеальности $1.02 \div 1.04$. Вторая группа диодов имела аномальные прямые ветви вольт-амперных характеристик при температуре жидкого азота. Для этих диодов характерна слабовыраженная *N*-образная характеристика при температуре жидкого азота, обусловленная наличием на площади контакта участков с различной высотой потенциального барьера.

Измерения при температуре 300 К показали, что импульсный лазерный отжиг изменяет вид вольт-амперных характеристик диодов обоих типов идентично. С увеличением энергии отжига выше порогового значения 25 Дж/см² наблюдается сдвиг семейства вольт-амперных характеристик по оси напряже-

ний (рис. 1). Параллельный сдвиг вольт-амперных характеристик происходит до энергий отжига 40 Дж/см^2 . Для диодов, подвергнутых лазерному отжигу с энергией более 40 Дж/см^2 , характерно изменение наклона вольт-амперных характеристик. Высота потенциального барьера, определенная из прямых ветвей вольт-амперных характеристик, уменьшается с увеличением энергии отжига. Коэффициент неидеальности остается неизменным при уменьшении высоты потенциального барьера от исходного значения 0.9 до 0.5 эВ и возрастает с дальнейшим понижением барьера.

Лазерный отжиг изменяет характер температурной зависимости вольт-амперных характеристик барьеров Шоттки. Вместе с понижением высоты потенциального барьера при лазерном отжиге уменьшается зависимость угла наклона вольт-амперной характеристики от температуры. Температурная за-

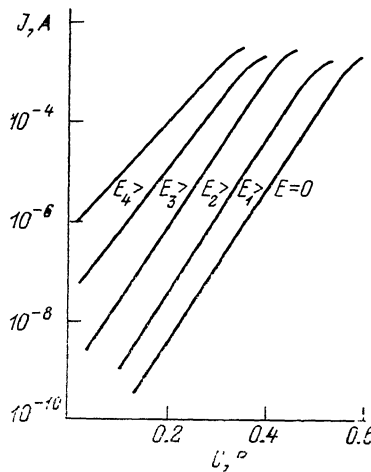


Рис. 1. Изменение вольт-амперных характеристик контакта палладий—арсенид галлия при лазерном отжиге.

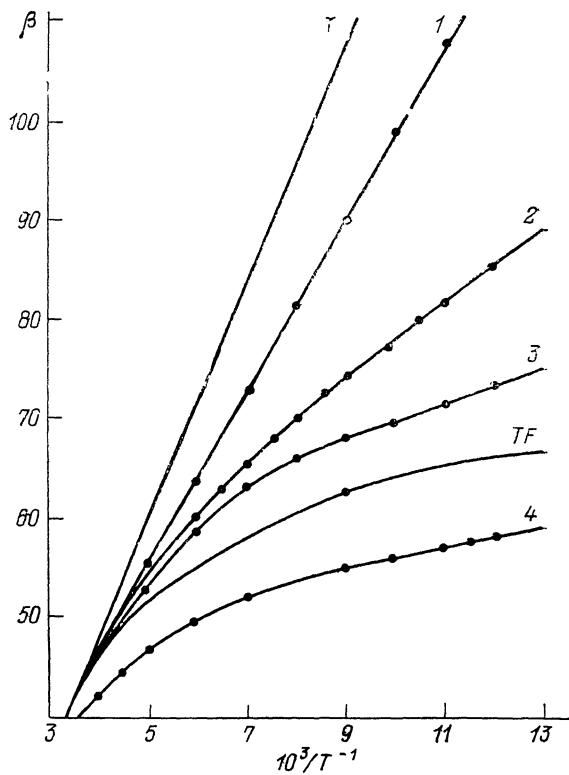


Рис. 2. Температурная зависимость угла наклона β для контактов с различной высотой потенциального барьера.

ϕ : 1 — 0.9 , 2 — 0.76 , 3 — 0.68 , 4 — 0.58 .

висимость угла наклона $\beta = d \ln I_{np} / dV$ для структур Pd—GaAs с различной высотой потенциального барьера представлена на рис. 2. С уменьшением высоты потенциального барьера наблюдается отклонение от линейной зависимости угла наклона β от обратной температуры, которая характерна для исходных образцов с высотой потенциального барьера 0.9 эВ.

Для диодов второго типа имеются особенности в изменении характеристик. Если для диодов первого типа лазерный отжиг приводит к параллельному сдвигу семейства вольт-амперных характеристик, то у диодов второго типа лазерный отжиг вызывает деформацию вольт-амперных характеристик. Наблюдаемая при низкой температуре деформация вольт-амперной характеристики выражается в виде различной степени смещения участков ВАХ под действием лазерного отжига (рис. 3). Смещение участка 1 вольт-амперной характеристики, обусловленного каналом с пониженной высотой потенциального барьера, более значительно, чем для участка 2, при одной и той же энергии отжига.

Общей закономерностью для обоих типов диодов являются уменьшение температурной зависимости прямого тока с понижением высоты потенциального барьера и изменение самого характера этой зависимости. Как видно из рис. 2, с понижением высоты потенциального барьера зависимость угла наклона от температуры изменяется от теоретической прямой, характерной для термо-

эмиссионного механизма переноса заряда (T), до кривой, определяемой термодонным механизмом (TF). Это указывает на то, что с понижением высоты потенциального барьера в результате лазерного отжига изменяется механизм переноса носителей заряда через барьер. Изменение механизма переноса носителей заряда связано с изменением структуры контакта под действием лазерного отжига. Как показали исследования профилей распределения атомов элементов, проведенные с помощью ВИМС и же-спектроскопии, действие импульсного лазерного отжига приводит к внедрению атомов палладия в арсенид галлия. В результате внедрения палладия на границе раздела металл—полупроводник образуется тонкий высоколегированный слой арсенида галлия электронного типа проводимости. Появление тонкого высоколегированного слоя приводит к резкому изгибу зон и туннельному прохождению носителей заряда сквозь

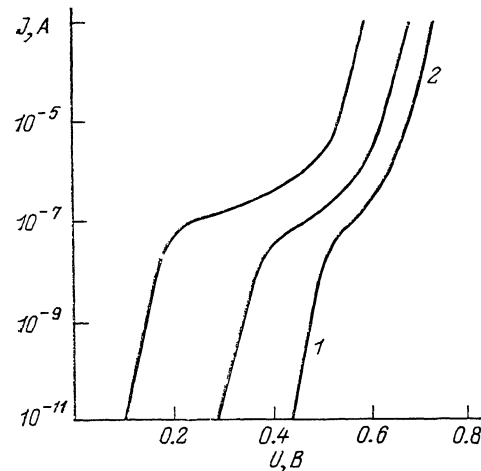


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики контакта с неоднородной высотой потенциального барьера 77 К.

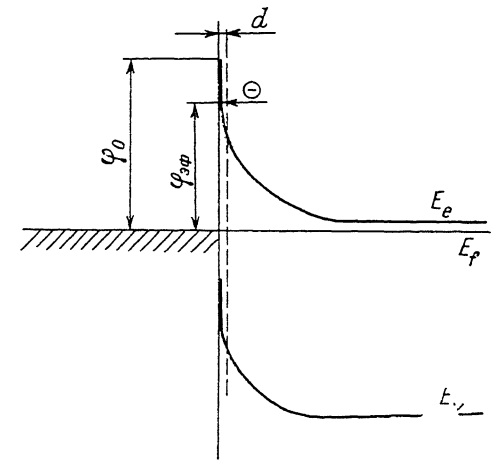


Рис. 4. Зонная диаграмма контакта с высоколегированным поверхностным слоем.

барьер. Зонная диаграмма такого контакта приведена на рис. 4. Эффективная высота потенциального барьера снижается за счет туннельного прохождения носителей заряда сквозь барьер. С учетом туннелирования сквозь треугольный барьер выражение для тока имеет вид [2]

$$I = \frac{4\pi q m^* (kT)^2}{h^3} \exp\left(-\frac{q\phi}{kT}\right) \exp\left(-\frac{4\sqrt{m^*} \Delta E^{3/2}}{3qhE_s}\right) \exp \beta V,$$

где ΔE — высота треугольного барьера, $E_s = \frac{2qNd}{\epsilon}$ — поверхностное поле, созданное легирующим слоем толщиной d и концентрацией доноров N , ϵ — диэлектрическая проницаемость.

С увеличением энергии отжига увеличиваются толщина легированного слоя d и концентрация атомов палладия N в поверхностном слое арсенида галлия, следовательно, происходит увеличение туннельной составляющей прямого тока.

Возникновение N -образной вольт-амперной характеристики диодов второго типа связано с локальными участками контакта, имеющими меньшую высоту потенциального барьера [3, 4]. Локальные участки контакта с пониженной высотой потенциального барьера обусловлены дефектами структуры в поверхностном слое арсенида галлия. При импульсном лазерном отжиге палладий диффундирует в арсенид галлия. Скорость диффузии атомов по дефектам значительно выше, чем на всей поверхности контакта, в результате этого в местах дефектов возникают локальные участки с высокой концентрацией атомов палладия, которые проникают на большую глубину относительно остальной поверхности контакта. Вследствие этого уменьшение высоты потенциального барьера в таких

участках происходит более значительно, чем по всей площади контакта при одном и том же режиме отжига, что и приводит к деформации вольт-амперной характеристики при низких температурах.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что изменение механизма носителей заряда через барьер связано со структурными изменениями, происходящими в контакте под действием импульсного лазерного отжига. Увеличение туннельной составляющей прямого тока и снижение эффективной высоты потенциального барьера вызваны появлением тонкого высоколегированного палладием поверхностного слоя арсенида галлия.

Список литературы

- [1] Вяткин А. П., Воронков В. П., Кулешов С. М. и др. // Поверхность. Физика, химия, механика. 1986. № 8. С. 111—114.
- [2] Воронков В. П., Вяткин А. П., Кулешов С. М., Иванов В. Б., Рухадзе З. А. // ФТП. 1989. Т. 24. В. 3. С. 562—564.
- [3] Вяткин А. П., Максимова Н. К. // Изв. вузов. Физика. 1983. № 10. С. 96—108.
- [4] Chekir F., Lu G. N., Barret C. // Sol. St. Electron. 1986. V. 29. N 5. P. 519—522.

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

Получена 16.05.1990

Принята к печати 14.12.1990