

ВЛИЯНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ ОБРАЗЦА
НА ЭФФЕКТ КОНТАКТНОЙ ЭКСКЛЮЗИИ

А.А. А к о п я н, В.К. М а л ю т е н к о

Явление контактной эксклюзии, заключающееся в обеднении электронно-дырочными парами области биполярного полупроводника, прилегающей к антизапорному контакту, при соответствующем направлении электрического поля, изучается уже давно. Процесс истощения приконтактной области начинается при очень низких напряжениях ($V \geq \frac{kT}{e}$), технология изготовления антизапорного контакта трудностей не представляет, а степень истощения объема „чистого“ кристалла определяется концентрацией некомпенсированной примеси и может достигать одного-двух порядков. Эти обстоятельства обусловили использование эффекта для определения параметров электронно-дырочной плазмы [1], увеличения быстродействия и вольт-ваттной чувствительности фоторезисторов [2], создания нетрадиционных источников ИК-излучения [3]. В первых исследованиях изучался лишь низкий уровень эксклюзии, когда количество вынесенных в объем образца электронно-дырочных пар много меньше количества носителей, оставшихся в приконтактной области и вольт-амперная характеристика образца омиическая. В дальнейшем стал изучаться и высокий уровень эксклюзии. В этом случае, характерном для „чистых полупроводников“, у которых концентрация примесей много меньше собственной концентрации электронно-дырочных пар, возможно сильное изменение проводимости приконтактной области за счет почти полного выноса из нее электронно-дырочных пар [4, 5]. Для высокого уровня эксклюзии характерно следующее соотношение между током i через образец и приложенным к нему напряжением V : $i \sim V^{1/2}$. Оно легко получается при учете того, что почти все приложенное напряжение падает в истощенной области, длина кото-

рой \mathcal{L} пропорциональна протекающему току i , то есть $\mathcal{L} \sim i$, а концентрация носителей равна концентрации примеси N . Таким образом, $E \sim \frac{V}{\mathcal{L}}$ или $E \sim \frac{V}{i}$, откуда из соотношения $i \sim NE$ следует $i^2 \sim V$.

Такое соотношение между протекающим через образец током и приложенным напряжением характерно для высокого уровня эксклюзии в образце прямоугольного сечения с одинаковой площадью контактов на торцах образца. Как будет показано ниже, это соотношение не выполняется в образце, выполненном в виде полого цилиндра, внутренний радиус которого меньше диффузионной длины L , а внешний — много больше диффузионной длины, по высоте цилиндр не ограничен. Предметом данного сообщения и является изучение этой ситуации. Сперва изложим теоретические соображения.

Будем рассматривать $p^+ - p - p^+$ структуру, а эксклюзирующим контактом будет контакт, нанесенный на внутреннюю поверхность цилиндра.

Уравнение непрерывности в области истощения, где можно пренебречь диффузией носителей и концентрация носителей n много меньше ее равновесного значения n_0 , запишем в виде:

$$\frac{FN}{r(2n+N)^2} \frac{dn}{dr} = \frac{n_0}{\tau}, \quad (1)$$

где $F = ri$ — полный ток на единицу высоты цилиндра, i — плотность тока, τ — время жизни носителей.

Уравнение (1), записанное в виде

$$d \frac{1}{2n+N} = - \frac{n_0}{\tau FN} d(r^2), \quad (2)$$

дает возможность заключить, что характерным радиусом области обеднения является

$$r_{\text{хар}} \sim \left(\frac{\tau F}{n_0} \right)^{1/2}. \quad (3)$$

С другой стороны, известно, что напряженность поля E в цилиндре, обе поверхности которого с радиусами r_{min} и r_{max} , являющимися эквипотенциальными поверхностями, при приложенной к цилиндру разности потенциалов V , есть

$$E = \frac{V}{r \ln \frac{r_{\text{max}}}{r_{\text{min}}}}. \quad (4)$$

Считая, что почти все напряжение падает на обедненной области, полагаем в (4) $r_{max} \approx r_{хар}$, а r_{min} — внутренний радиус образца и получаем вольт-амперное соотношение в виде:

$$F \sim N_{\mu r} E = \frac{2N_{\mu} V}{\ln \left(\frac{\varepsilon F}{n_0 r_{min}^2} \right)}, \quad (5)$$

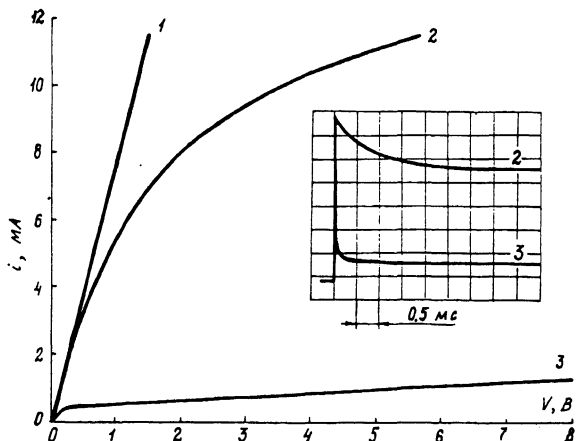
где μ — подвижность дырок.

Соотношение (5) показывает, что вольт-амперная характеристика при нанесении антизапорного контакта на внутренний радиус образца в виде цилиндра и при малости этого радиуса имеет почти линейный характер сразу после начала режима высокого уровня эксклюзии. Если же эксклюзия происходит от внешнего радиуса цилиндра, превышающего во много раз биполярную диффузионную длину, то ситуация подобна эксклюзии в образце прямоугольного сечения. В этом случае следует ожидать ВАХ вида $i \sim V^{1/2}$ при высоком уровне эксклюзии.

Эксперимент выполнялся с образцами $p\text{-Ge}(N_a - N_d) = 5 \times 10^{11} \text{ см}^{-3}$, $L \approx 0,15 \text{ см}$) при комнатной температуре, $p^+ - p$ контакты создавались сплавлением индия на боковые поверхности цилиндра с внутренними и внешним радиусами соответственно 1 и 7 мм. Перед измерениями образцы подвергались травлению в перекиси водорода, что обеспечивало скорость поверхностной рекомбинации на свободных поверхностях порядка 100 см/с . ВАХ измерялись в импульсном режиме (длительность импульса напряжения $1 \div 2 \text{ мс}$), что позволяло избежать нагрева образца и в то же время регистрировать стационарные характеристики.

На рисунке представлены стационарные ВАХ кристалла, демонстрирующие эффект эксклюзии носителей тока от внутреннего (кривая 2) и внешнего контактов (кривая 1). Кривая 3 соответствует омическому поведению кристалла, она записывалась через 1 мкс после начала импульса тока, когда процессом эксклюзии можно было пренебречь. В таких условиях проводимость определяется концентрацией электронно-дырочных пар n_0 .

Как видим, ВАХ качественно согласуются с теоретическим предсказанием. Исходная неоднородность поля, связанная с геометрией образца, способствует процессу эксклюзии от центрального контакта, и область полного истощения возникает у r_{min} при очень малых напряжениях. По этой же причине при противоположном направлении поля эффект эксклюзии оказывается „подавленным“. В результате в первом случае ВАХ выходит на почти омическую зависимость (5) уже при $V < 1 \text{ в}$, во втором — область классической зависимости ($i \sim V^{1/2}$) простирается во всем диапазоне напряжений ($V \leq 10 \text{ в}$) и, следовательно, возникает эффект геометрического выпрямления. Существенное различие в направлениях эксклюзии демонстрирует также и кинетика установления процесса эксклюзии (см. вставку б к рисунку). Процесс установления стационарного состояния тока при эксклюзии от центра завершается за время во во много раз короче, чем при обратном направлении.



Вольтамперная характеристика антизапорного контакта на Ge при 300 K: 1 - омическая ВАХ. 2 - эксклюзия от контакта при I_{max} 3 - эксклюзия от контакта при I_{min} . На вставке временное изменение тока при подаче на образец прямоугольного импульса напряжения $V = 2,5$ В.

Таким образом, процесс эксклюзии в кристаллах цилиндрической геометрии как количественно, так и качественно отличается от описанной в литературе ситуации эксклюзии в образцах прямоугольного сечения. Можно ожидать, что эти особенности окажутся полезными при практическом использовании эффекта эксклюзии.

Работа финансировалась Государственным комитетом Украины по науке и технологиям.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Коллюх А.Г., Малютенко В.К., Рыбак А.М. // ЖПС. 1989. Т. 50. В. 5. С. 801-803.
- [2] Ashley T., Elliott G.T. Electron. Lett. 1985. V. 21. P. 451-452.
- [3] Малютенко В.К., Рыбак А.М., Коллюх А.Г. // ЖПС. 1987. Т. 47. В. 2. С. 299-301.
- [4] White A.M. Infrared Phys. 1985. V. 25. P. 729-741.
- [5] Акопян А.А., Витусевич С.А., Малютенко В.К. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 10. С. 1783-1788.

Институт полупроводников
АН Украины, Киев

Поступило в Редакцию
3 августа 1992 г.