

**Омические контакты.** При изгибе зон вниз (рис. 2) приконтактный слой имеет избыток электронов (*антизапорный слой*, обогащённый слой). Ввиду повышенной проводимости он не вносит заметный вклад в сопротивление длинного образца. Поэтому контакты с обогащённым слоем могут служить омич. контактами в *полупроводниковых приборах*.

При больших плотностях тока омич. поведение контактов нарушается из-за монополярной инжекции электронов, напр., из металла в полупроводник (см. *Инжекция носителей заряда* в полупроводниках). Инжекция становится заметной, если плотность тока

$$j \geq eDn/R_D, \quad (1)$$

где  $n$  — концентрация электронов основных носителей заряда в полупроводнике,  $D$  — их коэф. диффузии,  $R_D$  — *дебаевский радиус экранирования*,  $e$  — элементарный заряд. С ростом тока проводимость полупроводника всё более определяется инжектированными электронами, рост концентрации  $n$ -рых ограничивается их объёмным зарядом (токи, ограниченные пространств. зарядом). В результате про-

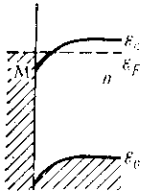


Рис. 2. Контакт с обогащённым (антизапорным) слоем.

водимость образца становится существенно нелинейной.

Электрич. сопротивление омич. контакта с обогащённым слоем увеличивается при наличии диэлектрич. прослойки  $D$  между металлом и полупроводником (напр., окисла металла, рис. 3). Из-за туннельной проницаемости прослойки проводимость её при малых толщинах ( $d \leq 20-30 \text{ \AA}$ ) становится пренебрежимо большой. В прослойке, а также на границе окисел — полупроводник, как правило, возникают центры захвата носителей заряда, поле  $n$ -рых наряду с полем контактной разности потенциалов управляет приконтактным изгибом зон, существенно изменяя его величину, а иногда

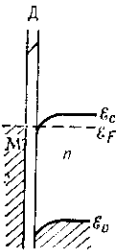


Рис. 3. Контакт с обогащённым слоем и диэлектрическим зазором.

и знак (см. *МДП-структура*). Это приводит к нестабильности и невоспроизводимости омич. контактов металл-полупроводник.

Поэтому для создания омич. контактов часто предпочитают сильно легированные приконтактные области полупроводника, образующие с основным его объёмом изотонный гомопереход, напр.  $n^+ - n$  (рис. 4), где переход образован сильно ( $n^+$ ) и слабо ( $n$ ) легированными областями. Такой переход обладает теми же свойствами, что и контакт металл — полупроводник с антизапорным слоем. Свойства такого омич. контакта не зависят от изгиба зон непосредственно у металла.

**Биполярные явления.** Если в полупроводнике происходит генерация неосновных носителей, напр. дырок, или если они инжектируются в образец с помощью др. контакта, то возникают т. н. биполярные контактные явления. Контакты с обогащённым слоем (рис. 2, 3, 4) обедняются дырками, ибо то электрич. поле,  $n$ -рое способствует обогащению электронами, выносит из слоя дырки. Электрич. поле тока в обогащённом слое мало по сравнению с электрич. полем в объёме. Поэтому ток дырок почти не проходит сквозь обогащённый слой. Если направление тока электронов таково, что дырки в поле этого тока движутся из объёма к контакту, то

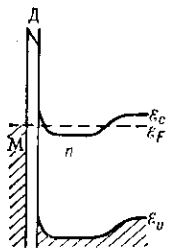


Рис. 4.

из-за непроникновения их слоев происходит их накопление перед контактом. Возникает т. н. *аккумуляционный слой*, обогащённый дырками, в  $n$ -рый для их нейтрализации из обогащённого слоя инжектируются электроны. С ростом плотности тока  $j$  через контакт толщина аккумуляционного слоя ( $l_a = Dn/j$ ) убывает, а концентрация дырок в нём быстро растёт. Когда она достигает и превосходит равновесную концентрацию электронов, сжатие аккумуляционного слоя сменяется его расширением до размера длины *амбиполярной диффузии* за время жизни носителей.

При противоположном направлении тока омыт. поле выносит дырки в толщу полупроводника. Возникает *экслюзия* — удаление дырок от контакта; область эксклюзии простирается от контакта в глубь полупроводника на расстояние, растущее с ростом  $j$  и приближённо совпадающее с длиной дрейфа электронов в поле за время их жизни. Эксклюзия дырок сопровождается уходом такого же кол-ва электронов в контакт, так что область эксклюзии — область обеднения носителями обоих знаков. Макс. обеднение и наиб. значенные электрич. поля достигаются на границе с обогащённым слоем. В образце с носителями обоих знаков, ограниченном с двух сторон омич. контактами для основных носителей, одновременно происходит эксклюзия у одного из контактов и аккумуляция у другого. При достаточно больших  $j$  область эксклюзии простирается на всю длину образца — вплоть до аккумуляционного слоя у др. контакта. В случае фотогенерации неосновных носителей говорят о *токовом выносе фотоносителей* из образца на один из контактов.

Контакты с обеднённым слоем (рис. 1) в равновесном случае обогащены неосновными носителями (поле,  $n$ -рое вытесняет осн. носители, втягивает неосновные). При прохождении тока в обратном направлении происходит *экстракция* (извлечение, вытягивание) в контакт неосновных носителей из приконтактной части образца, протяжённость  $n$ -рой определяется длиной диффузии неосновных носителей. Экстракция — слаботоковое явление на обратной ветви ВАХ, тогда как эксклюзия — сильноточковый эффект. Эти эффекты смыкаются лишь в собственном полупроводнике. Экстракция неосновных носителей обратным смещённым обеднённым слоем используется в коллекторах биполярных *транзисторов*.

Если через контакт с обогащённым слоем пропускать ток в прямом направлении, происходит инжекция неосновных носителей из контакта. Заряд инжектированных носителей нейтрализуется зарядом осн. носителей, приходящих в область инжекции из объёма полупроводника или из др. контакта (напр., омич. контакта в диодах, базового контакта в транзисторах). При слабых токах область инжекции простирается, как и область экстракции, примерно на длину диффузии неосновных носителей. С ростом  $j$  эта область растягивается за счёт дрейфа носителей в поле большого прямого тока, охватывая постепенно весь образец.

Если экстракция неосновных носителей осуществляется любым обратным смещённым контактом с обеднённым ими слоем, то эффективная их инжекция возможна лишь при высокой эмиссионной способности контакта. В случае контакта металл — электронный полупроводник инжекция дырок достигается при столь большом изгибе зон вверх, что у металла валентная зона становится ближе к уровню Ферми  $\epsilon_F$ , чем зона проводимости (рис. 5), т. е. там образуется *инверсионный*

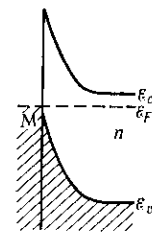


Рис. 5. Контакт с инверсионным слоем (с физическим  $p-n$ -переходом).

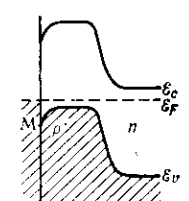


Рис. 6. Контакт с металлургическим  $p-n$ -переходом.