

основного материала. При этом сама поверхность имеет характер ступенчатых пирамид, высота которых может колебаться в зависимости от характера обработки в пределах от  $10^{-6}$  до  $10^{-3}$  см. Поверхность этих пирамид также испещрена впадинами, каналами и наростами. Все перечисленные выше дефекты и загрязнения поверхности смазывают всю картину, и поэтому для получения хорошо выпрямляющего контакта с заданной характеристикой требуется сложный технологический процесс.

Переход типа  $p$ - $n$  получается, как правило, в единой пластинке полупроводника, в котором граница с заданными свойствами между  $p$ - и  $n$ -слоями создается путем сплавления или диффузии  $p$ -примеси в монокристалл  $n$ -типа или сплавления или диффузии примеси  $n$ -типа в монокристалл  $p$ -типа.

Для успешной разработки технологии контакта, обладающего необходимыми свойствами, необходимо детальное знание всех физических процессов, происходящих в области контакта. В этой главе читатель сможет начать знакомство с теорией контактных явлений. Более детально этот вопрос можно изучить, пользуясь литературой [4, 31].

## 8.2. КОНТАКТ ПОЛУПРОВОДНИКА И МЕТАЛЛА

На рис. 1.17 было представлено распределение заряда, поля и потенциала на границе полупроводника и металла \*).

В зазоре между металлом и полупроводником поле постоянно и равно полю в плоском конденсаторе:

$$E_0 = 4\pi q_0 \quad (8.1)$$

и разность потенциалов

$$V_0 = dE_0, \quad (8.2)$$

где  $q_0$  — заряд на единицу поверхности полупроводника и металла и  $d$  — толщина зазора.

---

\*) Мы при этом предполагаем, что все примеси в слое  $d$  полупроводника ионизованы, весь расчет будет вестись для единицы поверхности, рис. 1.17 построен в предположении, что диэлектрическая постоянная  $\epsilon = 1$ .

В слое  $l$  объемного заряда полупроводника поле убывает по линейному закону:

$$E(x) = E_0 \frac{x}{l\kappa} \quad (8.3)$$

и разность потенциалов

$$V_{\kappa} = \int_0^l E dx = \frac{E_0}{l\kappa} \int_0^l x dx = \frac{E_0 l^2}{2l\kappa} = \frac{2\pi q_0 l}{\kappa}. \quad (8.4)$$

Следовательно, полная контактная разность потенциалов будет распределена между слоем объемного заряда и зазором:

$$V_{\kappa} = 4\pi q_0 \left( d + \frac{l}{2\kappa} \right). \quad (8.5)$$

Подставляя в (8.5)  $q_0$ , выраженное через  $l$

$$q_0 = N_d e l, \quad (8.6)$$

где  $N_d$  — число ионизированных донорных примесей в единице объема, получаем квадратное уравнение относительно  $l$ :

$$l^2 + 2dl\kappa - \frac{V_{\kappa}\kappa}{2\pi e N_d} = 0,$$

откуда

$$l = -\kappa d + \sqrt{\varepsilon^2 d^2 + \frac{V_{\kappa}\kappa}{2\pi e N_d}} \quad (8.7)$$

или

$$l = \kappa d \left( \sqrt{1 + \frac{V_{\kappa}\kappa}{2\pi e N_d \kappa^2 d^2}} - 1 \right). \quad (8.8)$$

Интересно рассмотреть два предельных случая:

1. Случай большого зазора  $d$ :

$$\frac{\kappa V_{\kappa}}{2\pi N_d e \kappa^2 d^2} \ll 1; \quad l = \frac{V_{\kappa}}{4\pi N_d e d}. \quad (8.9)$$

2. Случай малого зазора  $d$ :

$$\frac{\kappa V_{\kappa}}{2\pi N_d e \kappa^2 d^2} \gg 1 \quad (8.10)$$

и

$$l = \sqrt{\frac{\kappa V_{\kappa}}{2\pi N_d e}} - \kappa d. \quad (8.11)$$

Оценка показывает, что критерий (8.10) не является очевидным. На практике в зависимости от концентрации доноров мы можем встретиться и с тем и с другим случаем. При  $N = 10^{20}$  слой объемного заряда становится чрезвычайно тонким и основную роль начинает играть туннельный эффект. Этот случай мы рассмотрим при анализе работы обращенных и туннельных диодов, в ближайших параграфах мы будем считать запиорный слой достаточно толстым, чтобы туннельным эффектом можно было пренебречь.

### 8.3. ДИФФУЗИОННАЯ ТЕОРИЯ ВЫПРЯМЛЕНИЯ МОТТА (ХИМИЧЕСКИЙ БАРЬЕРНЫЙ СЛОЙ НА ГРАНИЦЕ МЕТАЛЛА С ПОЛУПРОВОДНИКОМ)

Если в результате технологической обработки на границе между металлом и полупроводником создан слой вещества, лишенный примесей \*), то распределение потенциала на таком контакте будет иметь вид, представленный на рис. 8.2, а, или (полагая, что слой достаточно толст, а зазор тонок) вид, схематически представленный на рис. 8.2, б.

Моттом была создана теория выпрямления на таком контакте при следующих предположениях:

- контактная разность потенциалов (или, что то же самое, падение потенциала) в зазоре много больше энергии ионизации примесных центров;
- концентрация носителей и ионизованных примесей в запиорном слое настолько мала, что поле можно считать постоянным;
- падением напряжения в объеме полупроводника можно пренебречь;
- поверхностными уровнями и сопротивлением воздушного зазора можно также пренебречь;
- средняя длина свободного пробега носителей много меньше толщины слоя.

Последнее предположение означает, что в данном случае к движению носителей в слое можно применить диффузионное уравнение

$$I = neuE - De \frac{dn}{dx}. \quad (8.12)$$

\*) Или каким-либо специальным приемом в промежутке между металлом и полупроводником создан слой диэлектрика.