

ции на дефекты. Если, например, рассматривается мелкая примесь с водородоподобным спектром, то наиболее удаленный электрон такого дефекта может быть внедрен двумя различными способами, согласно двум возможным направлениям его спина. Заполненное состояние дефекта является, таким образом, вырожденным, а незаполненное — невырожденным. Наоборот, спин электрона, связанного в дефекте, может быть определен по второму электрону в эквивалентном состоянии в дефекте. Следовательно, заполненное состояние невырождено, а незаполненное состояние вырождено.

Если g_v и g_t — степени вырождения заполненного (связанного) и свободного состояний, соответственно вместо (ч. I.6.10) для вероятности заполнения находим, обозначив $g = g_v/g_t$,

$$f(E) = \{1 + g \exp[(E(k) - \mu)/k_B T]\}^{-1}. \quad (2.39)$$

Итак, получаем для концентрации свободных носителей заряда и носителей, порождаемых донорами и акцепторами, в легированном полупроводнике следующее.

а) Концентрация электронов в зоне проводимости и концентрация дырок в валентной зоне

$$n = \int_{E_C}^{\infty} \frac{g(E) dE}{1 + \exp\left(\frac{E - \mu}{k_B T}\right)}, \quad (2.40)$$

$$p = \int_{-\infty}^{E_V} \left[1 - \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - \mu}{k_B T}\right)}\right] g(E) dE = \int_{-\infty}^{E_V} \frac{g(E) dE}{1 + \exp\left(\frac{\mu - E}{k_B T}\right)},$$

где $g(E)$ дается выражением (ч. I.22.4).

б) Концентрация заполненных (нейтральных) и незаполненных (положительно заряженных) доноров

$$n_{D^+} = n_D \left[1 + g \exp \frac{E_D - \mu}{k_B T}\right]^{-1}, \quad n_{D^-} = n_D \left[1 + \frac{1}{g} \exp \frac{\mu - E_D}{k_B T}\right]^{-1}. \quad (2.41)$$

в) Концентрация нейтральных и отрицательно заряженных акцепторов

$$n_{A^+} = n_A \left[1 + g \exp \frac{\mu - E_A}{k_B T}\right]^{-1}, \quad n_{A^-} = n_A \left[1 + \frac{1}{g} \exp \frac{E_A - \mu}{k_B T}\right]^{-1}. \quad (2.42)$$

Все эти концентрации содержат в себе в качестве свободного параметра химический потенциал электронов μ . В нейтральных полу-