

УДК 537.533.8

А.С. Спицына (5 курс, каф. ФЭ),
В.Б. Бондаренко, к.ф.-м.н., доц.

ПЛОТНОСТЬ ЭЛЕКТРОННЫХ СОСТОЯНИЙ НА ЕСТЕСТВЕННО НЕУПОРЯДОЧЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКА

ABSTRACT: A model is constructed for the surface band-bending region of a semiconductor which takes into account the discrete behavior of the uncorrelated dopant charge. In this model we obtained the functional dependence of the surface state density.

Важнейшей величиной, определяющей физические и химические свойства поверхности полупроводника, является плотность электронных состояний. Традиционный квазиклассический подход к описанию двумерной электронной системы приводит к известному результату: на бездефектной поверхности плотность состояний не зависит от энергии. Однако при этом игнорируется неупорядоченность потенциала, обусловленная незранированными зарядами примеси в обедненных слоях. Вследствие этого даже на априори структурно идеальной поверхности примесного полупроводника появится “хвост” плотности состояний в запрещенной зоне.

В работе в пренебрежении корреляции примесных атомов определена функция плотности распределения потенциала на поверхности полупроводника:

$$f(U) = \frac{2 \cdot (\delta U \sqrt{2} - U)}{\delta U^2} \cdot \exp \left[- \frac{\sqrt{2} \cdot (\delta U \sqrt{2} - U)}{\delta U} \right],$$

где $U \in (-\infty; \delta U \sqrt{2})$, $\delta U = \sqrt{N_0 / \pi L_0 D_0^2}$ - величина среднеквадратичного отклонения потенциала [1], D_0 - локальная плотность электронных состояний, N_0 - уровень легирования полупроводника, L_0 - ширина обедненной области. Используя этот результат, была получена зависимость плотности поверхностных состояний от энергии:

$$D(E) = \begin{cases} D_0 \frac{3 \cdot \delta U - E \sqrt{2}}{\delta U} \cdot \exp \left(- \frac{2 \cdot \delta U - E \sqrt{2}}{\delta U} \right), & E \leq \delta U \sqrt{2} \\ D_0, & E > \delta U \sqrt{2} \end{cases}$$

Таким образом, изначально на поверхности имеется локализованный электронный заряд, зависящий от параметров системы. Данный результат позволяет в рамках стандартной теории протекания определить критерий полной локализации поверхностного заряда.

Известно, что порог подвижности в двумерной электронной системе выражается условием совпадения энергии Ферми с эффективным дном поверхностной зоны, т.е. при $E_F = 0$ возможна только активационная проводимость. Непосредственное вычисление поверхностного заряда при $T = 0$ К дает критерий полной локализации:

$$N_0 \cdot L_0^3 \sim 1$$

Оценки показывают, что данное соотношение выполнено для полупроводников с диэлектрической проницаемостью ~ 10 при относительно небольших поверхностных изгибах зон $\cong 0.1$ эВ и высоких степенях легирования $\sim 10^{19}$ см⁻³.

Проведенный анализ показывает, что плотность электронных состояний на совершенной поверхности легированного полупроводника имеет экспоненциально

спадающий хвост, величина которого зависит от параметров системы. Очевидно, что при изменении характера поверхностных состояний меняется активность поверхностных реакций.

ЛИТЕРАТУРА:

1. В.Б.Бондаренко, М.В.Кузьмин, В.В.Кораблев, ФТП, т.35, № 8, с.964-968 (2001).