

О ПЕРЕХОДЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ В СВЕРХПРОВОДЯЩЕЕ

СОСТОЯНИЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЭФФЕКТА ПОЛЯ

В.Б.Сандомирский

В сверхпроводящих полупроводниках концентрация носителей, при которой наступает переход в сверхпроводящее состояние, сравнительно с металлами мала, и температура перехода T_c зависит от концентрации носителей. В $GeTe$ p -типа T_c меняется от 0,1 до 0,3°K при изменении концентрации дырок от $8,5 \cdot 10^{20}$ до $1,5 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ [1]. В $SrTiO_3$ n -типа T_c меняется от 0,1 до 0,1°K при изменении концентрации нормальных электронов n от 10^{18} до 10^{21} см^{-3} , проходя через максимум при $T_c \approx 0,5^\circ K$ и при $n \approx 10^{20} \text{ см}^{-3}$ [2]. В $PbTe$ для образцов n - и p -типа $T_c \approx 5^\circ K$ при концентрации избыточного Pb (n -тип) или примеси Tl (p -тип) около 1% вес. [3] Такие значения концентрации носителей можно создать в узкой области около поверхности полупроводника с помощью эффекта поля. Во избежание недоразумений отметим, что речь идет не о поверхностной сверхпроводимости, рассмотренной В.Л.Гинзбургом и Д.А.Киржницем [4], а о сверхпроводимости в слое объемного заряда около поверхности.

Сделаем некоторые оценки для полупроводника с параметрами $SrTiO_3$. Пусть вырожденный слой такого полупроводника является одной обкладкой конденсатора с сегнетоэлектриком в качестве диэлектрической прокладки. (Очевидно, что для увеличения емкости всегда желателен диэлектрик в конденсаторе с большой диэлектрической проницаемостью; в случае $SrTiO_3$ это особенно важно из-за его большой диэлектрической проницаемости, $\epsilon \approx 10^4$). Тогда (для образца, толстого по сравнению с длиной экранирования) отношение концентрации электронов в зоне проводимости полупроводника около поверхности n_0 к концентрации электронов в глубине слоя n_∞ при отсутствии поверхностного заряда равно

$$\frac{n_0}{n_\infty} = \left(1 + \frac{5}{16\pi\epsilon\mu_\infty n_\infty} D_n^2 \right)^{3/5}, \quad (1)$$

где μ_{∞} - химический потенциал электронов, отсчитанный от края зоны проводимости, \mathcal{D}_n - нормальная компонента диэлектрической индукции в сегнетоэлектрике конденсатора около границы с рассматриваемым образцом.

Положим $n_{\infty} = 10^{17} \text{ см}^{-3}$, тогда для SrTiO_3 с $m^* = 10m_0$ [5] при $T = 1^\circ\text{К}$ $\mu_{\infty} = 3 \cdot 10^{-5}$ эв; пусть $\mathcal{D}_n = 5 \cdot 10^8$ в/см. Если диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектрика конденсатора $\epsilon_c \approx 10^4$, то принятому значению \mathcal{D}_n отвечает напряженность электрического поля в конденсаторе $E_c \approx 5 \cdot 10^4$ в/см. При взятых значениях параметров (1) дает: $n_0/n_{\infty} \approx 10^4$, т.е. $n_0 \approx 10^{21} \text{ см}^{-3}$. Эта концентрация падает до $n/n_{\infty} = 10$ ($n = 10^{18} \text{ см}^{-3}$) на расстоянии порядка длины экранирования $l = (\epsilon \mu_{\infty} / 4\pi q^2 n_{\infty})^{1/2} \approx 2 \cdot 10^{-7} \text{ см}$. Для невырожденного полупроводника оценки практически не меняются.

Эти оценки показывают, что с помощью эффекта поля, по-видимому, можно перевести в сверхпроводящее состояние поверхностный слой образца, который при данной температуре и в отсутствие заряжения находился в нормальном состоянии.

Опыты по изменению T_c металлических пленок посредством заряжения в эффекте поля уже проводились ранее [6]. (На пленках Sr с сегнетоэлектриком триглицинсульфата в конденсаторе получено

$\Delta T_c = 0,0013^\circ\text{К}$). В случае же полупроводников, по-видимому, можно управлять сверхпроводящим состоянием.

Кроме эффекта поля, для значительного увеличения концентрации в областях малых размеров, можно использовать также хемосорбцию, контактные поля и электрическую инжекцию. Сказанное относится, разумеется, как к электронной, так и к дырочной проводимости. Особый интерес представляет принципиальная возможность создания и управления электронной или дырочной сверхпроводимостью с помощью эффекта поля на одном и том же образце.

В заключение отметим, что измерения эффекта поля в сверхпроводящих полупроводниках позволят экспериментально исследовать экранирование в сверхпроводящем состоянии.

Выражаю благодарность Н.М.Когану и Р.А.Сурису за обсуждения изложенных здесь соображений.

Институт радиотехники и электроники
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
6 сентября 1965г.

Литература

- [1] R.A.Hein, J.W.Gibson, R.Mazelsky, K.C.Miller, J.K.Hulm, Phys. Rev. Lett., 12, 320, 1964.
- [2] J.F.Schooley, W.R.Hosler, E.Ambler, J.H.Becker, M.L.Cohen, C.S.Koonce, Phys. Rev. Lett., 14, 305, 1965.
- [3] B.Lalevic. Phys. Lett., 16, 206, 1965.
- [4] В.Д.Гинзбург, Д.А.Киржиц. ЖЭТФ, 46, 397, 1964.
- [5] H.P.v.Frederikse, W.R.Thurber, W.R.Hosler. Phys. Rev., 134, 442, 1964.
- [6] R.E.Glover, III, M.D.Sherrill, Phys. Rev. Lett., 5, 248, 1960; H.L.Stadler. Phys. Rev. Lett., 14, 979, 1965.