

ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ С ИНЖЕКЦИЕЙ ИЗ ИСТОКА НА ОСНОВЕ СЛОИСТОГО $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$

Ш. Д. Курмашев, А. А. Градобоев

Одесский государственный университет им. И. И. Мечникова

Изучался полевой транзистор с инжекцией из истока на основе слоистого твердого раствора $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$. Показано, что параметр неоднородности базового материала влияет на вольт-амперную характеристику транзистора.

Использование узкозонных полупроводников ($\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$) в микро- и оптоэлектронике позволяет увеличить быстродействие приборов и регистрировать тепловое излучение средней и дальней ИК-областей спектра. Значительно возрос интерес к изучению свойств МДП-структур из $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$. Их характеристики в значительной степени определяются свойствами полупроводника, технологией изготовления структур, влиянием внешних факторов. В работе [1] получено выражение для стокового тока длинно канальных МДП полевых транзисторов (ПТ) на основе CdHgTe , учитывающие характерные особенности этого материала — непараболичность зоны проводимости, вырождение носителей заряда в канале, компенсацию и неполную ионизацию примесей и дефектов. В настоящее время большое внимание уделяют изучению ПТ с инжекцией — новому типу приборов с большой крутизной вольт-амперной характеристики (ВАХ). Представляется интересным изучить характеристики такой структуры на основе твердого раствора $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ (КРТ). Из экспериментов можно сделать вывод о существенной слоистой неоднородности КРТ вдоль оси роста кристалла, что безусловно должно сказаться на ВАХ ПТ с инжекцией.

Рассмотрим ПТ с инжектирующим р-п-переходом в качестве истока с поперечной (к направлению движения заряда) неоднородностью. Геометрия структуры показана на рис. 1.

Неоднородность состава КРТ приводит к соответствующей неоднородности ширины запрещенной зоны, которая в области составов $x \approx 0.2$ меняется в интервале 80...100 мэВ. Концентрация свободных носителей в объеме полупроводника модулируется флуктуациями ширины запрещенной зоны. При реализации эффекта поля, в случае соблюдения условия электронейтральности можно записать

$$n - p = (n_0 - p_0) + \frac{Q(x)}{e} \delta(y - d). \quad (1)$$

Второй член в правой части (1) учитывает заряд на полевом электроде, который компенсирует из-

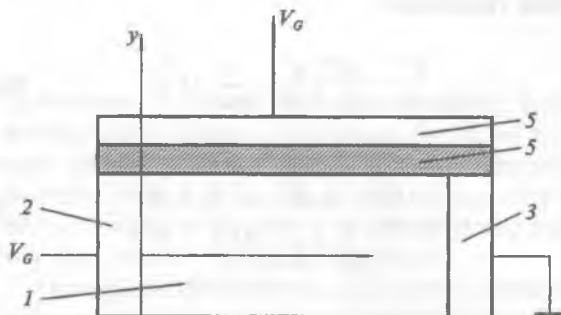


Рис. 1. Структура полевого транзистора. 1 — n-база; 2 — p⁺-область; 3 — n⁺-область; 4 — диэлектрик; 5 — полевой электрод

быточный заряд носителей в канале. Первый член представим в виде

$$n_0 - p_0 = N \cdot f(y). \quad (2)$$

Здесь $N = \text{const}$ (размерность концентрации), $f(y)$ — безразмерная функция, позволяющая учесть изменение концентрации носителей заряда в равновесии в соответствии с составом твердого раствора КРТ.

Полный ток в канале описывается выражением

$$I = eD_p(1+b)E(x) \left\{ P + \frac{b}{b+1} \left[2d(n_0 - p_0) - \frac{Q}{e} \right] \right\}, \quad (3)$$

где $P = \int_{-d}^d p(y)dy$; $E(x)$ — напряженность электрического поля в x-направлении, измеряемая в единицах kT/e ; остальные обозначения общепринятые.

Для нахождения ВАХ ПТ необходимо знать распределение дырок в y-направлении, которое определяется из уравнения

$$D \frac{d^2 p}{dy^2} = \frac{p}{\tau(y)} - \frac{\bar{p}}{\tau_{\text{нмн}}} \cdot \frac{\Phi}{\Phi}. \quad (4)$$

Здесь $\Phi(y) = f(y) + \frac{Q}{eN} \delta(y - d)$.

В общем случае при решении уравнения вида

(4) необходимо учитывать зависимость времени жизни носителей от поперечной координаты (состава). Для КРТ п-типа проводимости время жизни при $T = 77$ К определяется Оже-рекомбинацией, зависимость которой от флуктуации состава существенно сглажена, поэтому можно полагать $\tau = \text{const}$, а в пренебрежении влиянием поверхностей $\pm d$ $\tau = \tau_{\text{эф}}$. Тогда из (4) получим

$$P = \int_{-d}^d P(y) dy = \frac{\bar{p}d}{\bar{f} + \frac{Q}{2eNd}} \left(\bar{f} + \bar{\Phi}_1 - 2\bar{\Phi}_2 ch \frac{d}{L} \right). \quad (5)$$

$$\text{Здесь } \bar{\Phi}_1 = \frac{1}{2d} \int_{-d}^d f e^{-2y/L} dy; \bar{\Phi}_2 = \frac{1}{2d} \int_{-d}^d f e^{-y/L} dy.$$

ВАХ ПТ с инжекцией находим из решения системы уравнений

$$\frac{CI}{\mu} = \frac{dQ'}{dx} \left(\frac{q^2}{Q'} + \frac{b}{b+1} Q' \right), \quad (6)$$

$$\frac{I}{1+b} \cdot \frac{d}{dx} \left(\frac{\frac{q^2}{Q'}}{\frac{q^2}{Q'} + \frac{b}{b+1} Q'} \right) = -\frac{q^2}{Q'\tau}, \quad (7)$$

$$\text{где } Q' = Q + 2edN\bar{f}, \quad q^2 = 2e^2 d^2 \bar{p}N \left(\bar{f} + \bar{\Phi}_1 - 2\bar{\Phi}_2 ch \frac{d}{L} \right)$$

Уравнение (6) получено из (3) с учетом того, что $E_x = \frac{kT}{eC} \cdot \frac{dQ}{dx}$, а (7) из уравнения непрерывности дырочного тока в x -направлении в дрейфовом приближении. Анализ решений (6) и (7) показывает, что существует область напряжений V_D , где ток через канал управляется напряжением полевого электрода, а при $V_D \geq V_G$ ток не зависит от V_G . В отличие от безынжекционных ПТ, у рассматриваемой структуры канальный ток не испытывает насыщения для ВАХ, что подтверждает влияние поперечной неоднородности состава на токи в ПТ с инжекцией на основе КРТ. С другой стороны, очевидно, что изучение эффекта поля на основе обсуждаемой структуры может быть средством определения параметров неоднородности полупроводникового твердого раствора КРТ.

Литература

1. Градобоев А. А., Курмашев Ш. Д. Влияние особенностей $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ на характеристики длинноканальных транзисторов // ФТП. — 1995. — Т. 29, вып. 1. — С. 51—57.