

ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ
ДВУХДОЛИННОГО ПОЛУПРОВОДНИКА,
НЕ ИМЕЮЩЕГО ОТРИЦАТЕЛЬНОГО УЧАСТКА
В СТАТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ $V(E)$

Э. Д. Прохоров, Н. И. Белецкий

Известно, что отрицательная дифференциальная проводимость двухдолинного полупроводника, в котором наблюдается эффект Ганна, зависит от подвижности носителей в слабом электрическом поле μ_1 .

При низкой подвижности носителей (например, для GaAs $\sim 2000 - 3000$ см²/в.сек) отрицательный участок в статической зависимости $V(E)$ исчезает [1]. Должна исчезнуть и сопровождающая его неустойчивость тока.

Ниже показано, что и в таком полупроводнике, т. е. при отсутствии отрицательного участка в зависимости $V(E)$, при определенных условиях и в определенном диапазоне частот возникает отрицательная дифференциальная проводимость, обусловленная инерционностью перераспределения носителей между подзонами проводимости.

Рассмотрим двухдолинный полупроводник с $V(E)$ типа, показанного на рисунке а (для определенности положим, что это GaAs с $\mu_1 \sim 3000$ см²/в.сек). В однородном кристалле при отсутствии концентрационных эффектов изменение концентрации электронов в каждой из подзон проводимости при изменении напряженности электрического поля описывается уравнениями

$$\frac{\partial n_1}{\partial t} = -\frac{n_1}{\tau_1} + \frac{n_2}{\tau_2}, \quad (1)$$

$$n_1 + n_2 = n_0$$

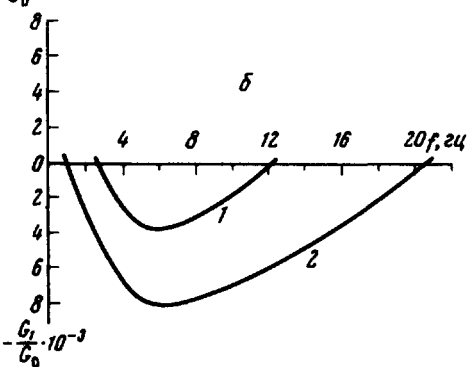
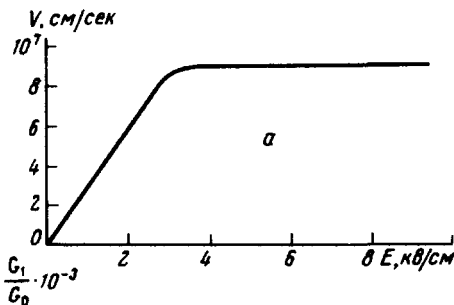
n_1 — концентрация электронов в центральной долине, n_2 — концентрация электронов в боковых долинах, n_0 — концентрация электронов в зоне проводимости, τ_1 — время релаксации электронов из центральной долины в боковые (сильно зависит от поля), τ_2 — время релаксации электронов из боковых долин в центральную (слабо зависит от поля и равно $\sim 2 \cdot 10^{-12}$ сек [2]). Время релаксации τ_1 сложным образом зависит от E . В наших расчетах была принята аппроксимация в виде

$$\tau_1(E) = \tau_2 \frac{E_n}{E - E_n}, \quad E > E_n \quad (2)$$

достаточно хорошо совпадающая с действительной зависимостью $\tau_1(E)$ для рассматриваемого случая низкой подвижности. В (2) E_n — пороговая напряженность электрического поля, $E = E_0 + E_1 \cos \omega t$, E_0 — постоянная составляющая электрического поля на образце, E_1 — амплитуда переменной составляющей. Из уравнений (1) и (2) получаем

$$\frac{\partial n_1}{\partial t} = - \frac{E_0 + E_1 \cos \omega t}{E_n \tau_2} n_1(t) + \frac{n_0}{\tau_2} \quad (3)$$

Начальное условие определяется из (3) при $\frac{\partial n_1}{\partial t} = 0$.



a — Зависимость $V(E)$,
б — зависимость G_1/G_0
от f при 1. — $E_0 = 5$ кВ/см,
 $E_1 = 2,1$ кВ/см;
2 — $E_0 = 10$ кВ/см,
 $E_1 = 7,1$ кВ/см

Из уравнения (3) определяется $n_1(t)$ — поведение концентрации электронов в центральной долине во времени при наложении на образец СВЧ поля. Зная $n_1(t)$ можно определить

$$V[E(t)] = \left[\frac{n_1(t)}{n_0} (\mu_1 - \mu_2) + \mu_2 \right] E(t) \quad (4)$$

Динамические характеристики $V(E)$ — (4) — позволяют определить форму тока через диод, амплитуду его первой гармоники и при известном действующем напряжении активную проводимость образца в диапазоне частот.

Решение уравнений (3), (4) было проделано численным методом на ЭВМ. Для расчета были взяты $E = 3$ кв/см, $n_0 \approx 10^{15}$ см⁻³, $\mu_2 \sim 100$ см²/в.сек, $\mu_1 \sim 3000$ см²/в.сек, $E_0 = 10$ кв/см, $E_1 = 7,1$ кв/см для одного случая и $E_0 = 5$ кв/см и $E_1 = 2,1$ кв/см для другого случая. По полученным результатам построены зависимости G_1/G_0 от f (рисунок б), где G_1 — проводимость образца при соответствующем смещении и амплитуде действующего напряжения, G_0 — активная проводимость образца в слабом поле.

Результаты расчетов показывают, что двухдолинный полупроводник, не имеющий отрицательного участка в зависимости $V(E)$, обладает отрицательной дифференциальной проводимостью в диапазоне частот (рисунок, б). С увеличением постоянной напряженности электрического поля диапазон частот, в котором наблюдается отрицательная дифференциальная проводимость, расширяется. Отрицательная дифференциальная проводимость такого полупроводника может быть использована для генерации и усиления. Коэффициент полезного действия генератора на основе отрицательной дифференциальной проводимости рассмотренного полупроводника по расчетам составляет 0,6 — 0,7%.

Харьковский
государственный университет
им. А.М.Горького

Поступила в редакцию
25 ноября 1971 г.

Литература

- [1] J.B.Bott, C.Hilsum. IEEE Trans., ED-14, 9, 492, 1967,
- [2] E.M.Conwell, M.O.Vassell. IEEE Trans., ED-13, 1, 22, 1966.