

Нестационарный фотомагнитный эффект в многослойных структурах с $p-n$ -переходами

© В.Н. Агарев, В.И. Стафеев

Государственное унитарное предприятие НПО "Орион",
111123 Москва, Россия

(Получена 6 марта 2000 г. Принята к печати 16 марта 2000 г.)

Проведен анализ нестационарного напряжения, возникающего в супермногослойной структуре, представляющей собой последовательно включенные $p-n$ -переходы, после подачи на нее смещения. Показано, что в таких структурах при освещении в магнитном поле возможно возникновение нестационарного фотомагнитного эффекта очень большой величины.

Супермногослойная структура (СМС) — структура, в которой много $p-n$ -переходов включено навстречу друг другу, т.е. структура типа $p-n-p-n-p-n\dots$ [1]. Если на СМС подано смещение $V \gg 2mkT/q$, где $2m$ — число $p-n$ -переходов в структуре, T — температура, q — заряд электрона, то оно будет падать в основном на обратно-смещенных $p-n$ -переходах. Заряд, запасенный на их емкостях, будет существенно превышать заряд на прямо-смещенных $p-n$ -переходах.

Если концы такой структуры закоротить, то возникнет ток, который перезарядит все $p-n$ -переходы до одинакового заряда (если все $p-n$ -переходы одинаковы). Избыточный заряд будет разряжаться обратными токами $p-n$ -переходов. Поскольку они малы, время разряда будет много больше объемного времени жизни неравновесных носителей заряда в этом полупроводнике [1].

Поскольку идеально одинаковых $p-n$ -переходов не существует, в процессе релаксации СМС возникает разность потенциалов, величина которой зависит от первоначального заряда барьерных емкостей и разности обратных токов включенных навстречу $p-n$ -переходов [2–4]. Предельное значение возникающей нестационарной разности потенциалов $V_{\max} = m\varphi$, где φ — контактная разность потенциалов между p - и n -областями. В СМС 10^3-10^4 барьеров/см, $\varphi \sim 1$ В, поэтому может возникнуть нестационарная разность потенциалов до 10^3-10^4 В/см.

Рассмотрим СМС в режиме холостого хода с предельно заряженными емкостями $p-n$ -переходов. В этих условиях неравновесный заряд на $p-n$ -переходах много больше равновесного заряда ионизованных доноров: $Q(0) \gg Q_0$. В произвольный момент времени t заряд на барьерных емкостях в n -области между j -м и $(j+1)$ -м переходами есть

$$Q(t) = Q_j(t) + Q_{j+1}(t) = (1/2)Q_0 \sqrt{1 + V_j(t)/\varphi} + (1/2)Q_0 \sqrt{1 + V_{j+1}(t)/\varphi}, \quad (1)$$

где V_j, V_{j+1} — напряжения на j -м и $(j+1)$ -м $p-n$ -переходах.

Полное напряжение на СМС в режиме холостого хода в этом случае составляет

$$V = m(V_{j+1} - V_j). \quad (2)$$

При освещении СМС в поперечном магнитном поле (B) изменение заряда на барьерных емкостях происходит под действием как тепловой генерации-рекомбинации ($-I_s$), так и генерации под действием света ($-I_f$) и фотомагнитного тока ($-I_{fm}$) [5]:

$$dQ_j/dt = -I_s - I_f - I_{fm} = -I_j, \quad (3)$$

$$dQ_{j+1}/dt = -I_s - I_f + I_{fm} = -I_{j+1}. \quad (4)$$

Поскольку V_j и V_{j+1} отрицательны и превышают по абсолютной величине kT/q , то токи I_f и I_{fm} можно считать постоянными, так как концентрации неравновесных дырок на границах с $p-n$ -переходами много меньше концентрации равновесных. Если тепловая генерация происходит преимущественно в квазинейтральной области, то ток I_s также можно считать постоянным. Решая совместно (1), (3) и (4), получим полное падение напряжения [2]

$$V(t) = 4m\varphi [Q(0)/Q_0]^2 \times \left[2t(I_j - I_{j+1})/Q(0) - t^2(I_j^2 - I_{j+1}^2)/Q(0)^2 \right]. \quad (5)$$

Максимальное фотонапряжение достигается при $t = t_{\max} = Q(0)/(I_j + I_{j+1})$ и составляет

$$V_{\max} = 4m\varphi [Q(0)/Q_0]^2 (I_j - I_{j+1})/(I_j + I_{j+1}). \quad (6)$$

При $I_f \gg I_s$ и $\mu B \ll 1$, т.е. $I_{fm} \ll I_f$, для максимального фотонапряжения получим

$$V_{\max} = 4m\varphi [Q(0)/Q_0]^2 I_{fm}/I_f = (4m\varphi/\pi) [Q(0)/Q_0]^2 2\mu B, \quad (7)$$

так как согласно [5] $I_{fm}/I_f = 2\mu B/\pi$.

В работе [6] был исследован аномальный эффект фотомагнитного напряжения в CdTe и предложена модель, из которой для него получено следующее выражение:

$$V_0 = 4mkT \mu B/q\pi. \quad (8)$$

Из сопоставления (7) и (8) следует

$$V_{\max}/V_0 = 2q\varphi [Q(0)/Q_0]^2/kT \gg 1. \quad (9)$$

Для CdTe при комнатной температуре $q\varphi/kT \approx 60$, $[Q(0)/Q_0]^2 \approx 10$, поэтому $V_{\max}/V_0 \approx 600$. Таким образом, в СМС с предварительно заряженными барьерными емкостями $p-n$ -переходов возможен нестационарный фотомагнитный эффект, на несколько порядков превышающий "гигантский фотомагнитный эффект в полупроводниковых пленках" [6], возникающий в стационарном случае.

Список литературы

- [1] В.И. Стафеев. ФТП, **6**, 2134 (1972).
- [2] В.Н. Агарев. Письма ЖТФ, **3** (13), 626 (1977).
- [3] В.Н. Агарев. ФТП, **14**, 1018 (1980).
- [4] В.Н. Агарев. ФТП, **31**, 920 (1997).
- [5] Э.И. Адирович, Д.А. Аронов, Э.М. Матов, Ю.М. Юабов. ФТП, **8**, 354 (1974).
- [6] Э.И. Адирович, Э.М. Матов, Ю.М. Юабов. ФТП, **5**, 1415 (1971).

Редактор Л.В. Шаронова

A non-stationary photomagnetic effect in multilayer structures with $p-n$ -junctions

V.N. Agarev, V.I. Stafeev

Scientific and Industrial Association "Orion",
111123 Moscow, Russia

Abstract A non-stationary voltage, which occurs in a multilayer structure with $p-n$ -junctions after dc bias switching has been analyzed. A dramatic non-stationary photomagnetic effect has been observed.