

ФОТОМАГНИТНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ ОСВЕЩЕНИИ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

В.А. Сабликов, В.Б. Сандомирский

Показано, что при локальном освещении в области собственного поглощения неоднородного полупроводника или при наличии внешнего магнитного поля в однородном полупроводнике возникают замкнутые электрические токи и магнитные поля.

1. Рассмотрим полупроводник с подповерхностной неоднородностью потенциального рельефа (p - n -переход, гетеропереход, неоднородность легирования, структурный дефект и т.п.). Пусть, например, это будет p - n -переход, расположенный параллельно поверхности на глубине d порядка длины диффузии носителей L . Электроны и дырки, генерированные световым лучом (радиуса a), диффундируют на расстояние $\approx L$ и, попав в область барьера p - n -перехода, разделяются его полем. На барьере образуется неравновесная разность потенциалов $V(r)$ (r – координата в плоскости перехода), которая в силу высокой проводимости p - и n -слоев спадает от центра возбуждающего луча значительно медленнее, чем концентрация носителей. В результате в периферийных частях структуры возникает ток, создаваемый индуцированным светом смещением p - n -перехода в пропускном направлении, а в центральной части ($\approx L$) преобладает фототок неравновесных носителей, текущий в противоположном направлении. Таким образом, возникает распределение тока тороидального типа (рис. 1). Оно описывается уравнением $\text{div } \mathbf{j} = 0$, где \mathbf{j} – ток, который имеет электронную и дырочную компоненты.

Неординарность задачи состоит в том, что неравновесные электроны и дырки возникают не только в процессе их непосредственной инжекции светом, но также и в результате прохождения тока через барьер. Решение этой задачи в случае поверхностного поглощения света и гауссовой формы распределения интенсивности луча света приводит к такому распределению j как на рис. 1. Зависимость нормальной компоненты j_z через p - n -переход от r представлена на рис. 2; j_z максимален в центральной части

$$j_z \approx \frac{qP(1 + d/L)}{2\pi h\nu d^2(\sigma + 1)} e^{-d/L},$$

где P – мощность светового луча, $h\nu$ – энергия квантов, $\sigma = SL/D_n$, S – скорость поверхностной рекомбинации, D_n – коэффициент диффузии электронов. При удалении от центра луча

j_x падает как $\exp(-r/L)$, изменяет знак на расстоянии $r_0 \gg L$ и далее уменьшается $\sim r^{-5}$,

$$r_0 \approx L \ln \left[\frac{4(d/L)^2}{1 + \sigma} \frac{q\mu_p N}{LG} e^{d/L} \right],$$

где μ_p – подвижность дырок, N – концентрация примесей в p -полупроводнике, G – проводимость p - n -перехода на единицу площади.

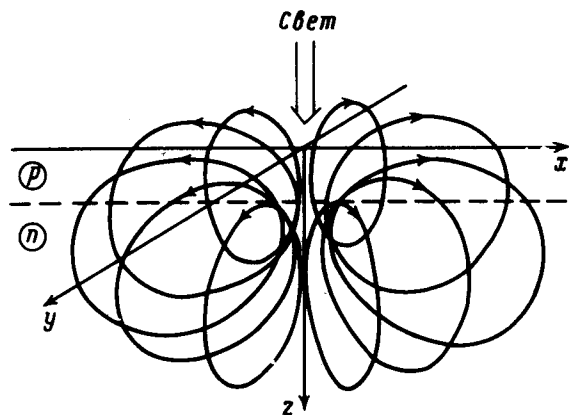


Рис. 1. Конфигурация токов, индуцированная светом в образце с p - n -переходом

Электрический ток торoidalной конфигурации создает азимутальное магнитное поле, которое не выходит за пределы полупроводника. График распределения магнитного поля в плоскости p - n -перехода показан на рис. 2. Максимальное значение поля

$$B \approx \frac{q \cdot P}{chv(\sigma + 1)L} e^{-d/L}$$

достигается при $r \approx L$. При $P \approx 10^4$ Вт, $L = 10^{-3}$ см, $\sigma \approx 1$, $B \approx 10^{-2}$ Э.

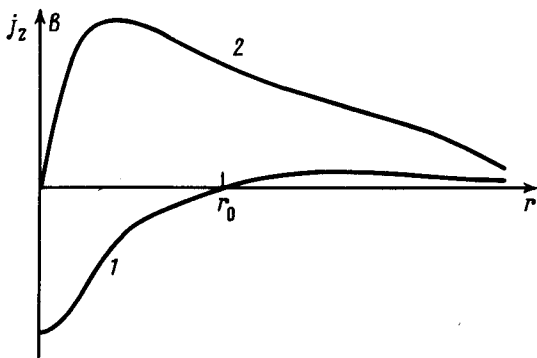


Рис. 2

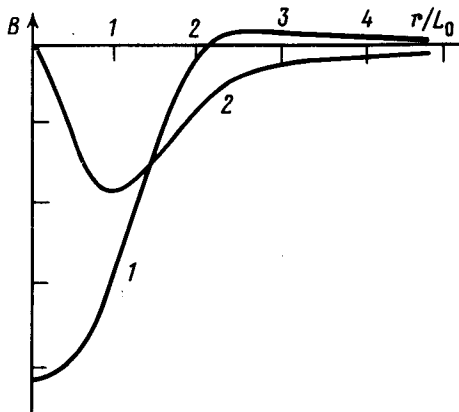


Рис. 3

Рис. 2. Распределение j_z (кривая 1) и магнитного поля (кривая 2) в плоскости p - n -перехода

Рис. 3. Пространственные распределения магнитного поля круговых токов в плоскости $z = 0$:
1 – B_z , 2 – B_r

Возникновение магнитного поля под действием света по существу является фотомагнитным эффектом, обратным эффекту Кикоина—Носкова. В рассмотренной ситуации магнитное поле сосредоточено в полупроводнике. Эффект мог бы привести к интересным последствиям в случае, когда свойства полупроводника изменяются в достижимом диапазоне магнитных полей, например, в магнитном полупроводнике. Рассмотренная конфигурация токов создает управляемый светом тороидальный момент. Он мог бы наблюдаться по электрическому полю¹, возникающему в окружающей среде под действием нестационарного освещения, возбуждающего переменный ток. В случае, когда неоднородность в полупроводнике непараллельна освещаемой поверхности, распределение тока изменяется таким образом, что помимо тороидального возникает магнитный момент и магнитное поле выходит за пределы образца.

2. Рассмотрим однородный биполярный полупроводник, который находится во внешнем однородном магнитном поле B_0 , перпендикулярном поверхности образца $z = 0$, и освещается лучом света с энергией фотонов в области собственного поглощения.

Локальное освещение создает диффузионные потоки фотоносителей заряда по оси z и радиальные. Вследствие эффекта Кикоина—Носкова радиальные диффузионные потоки фотоносителей приводят к возникновению замкнутых недиссипативных токов с цилиндрической симметрией относительно оси z . Иначе говоря, возникает геометрия диска Карбино на диффузионных токах.

Характерный пространственный масштаб изменения всех возникающих полей порядка диффузионной длины носителей заряда. Расчет дает следующую оценку магнитного поля, генерируемого круговыми токами

$$B_z \approx q \frac{\mu_n + \mu_p}{c} B_0 \frac{P/h\nu}{Lc}.$$

Здесь μ_n , μ_p — подвижности электронов и дырок. При тех же параметрах, что и в п. 1 и $\mu_{n,p} B_0/c \approx 1$ получаем $B_z \approx 10^{-2}$ Э. На рис. 3 приведены в относительных единицах распределения z -й и r -й компонент магнитного поля в плоскости $z = 0$ для $\sigma = \gamma_{n,p} = a/L = 1$.

При локальном освещении однородного полупроводника во внешнем магнитном поле, перпендикулярном направлению луча света, возникает обычный эффект Кикоина—Носкова в области с размерами $\approx L$.

Описанные эффекты могли бы быть использованы для диагностики полупроводников по фототермическому эффекту или по магнитным полям замкнутых токов.

Литература

1. Миллер М.А. УФН, 1984, 142, 147.