

УДК 621.382

А. К. Амонов, П. Х. Мусаев*(Бухара, Узбекистан)***О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ
НОВЫХ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ НА ОСНОВЕ
ПЛЕНОК С ТОРОИДАЛЬНЫМ ЗАКОНОМ ДИСПЕРСИИ**

Предложен новый класс материалов с большой нелинейностью, который можно использовать в интегральной технологии для создания генераторов ВЧ-диапазона.

В полупроводниках может наблюдаться сильная нелинейность взаимодействия излучения с веществом. Хорошо известно, что большинство нелинейных электромагнитных эффектов, связанных со свободными носителями в однородных полупроводниках, обусловлены их разогревом.

Однако в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах длин волн основной вклад в нелинейность вносит непараболичность зоны проводимости, на что было указано еще в экспериментальной работе [1], посвященной электронному антимониду индия.

Цель настоящего сообщения – изучение нелинейности, возникающей за счет непараболичности зоны проводимости в кристаллах вюрцитовой симметрии, которые, как будет показано, открывают возможность создания пленочных генераторов субмиллиметрового диапазона.

Закон дисперсии электронов с энергией, близкой к экстремальной, у таких полупроводников имеет вид [2]:

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{\hbar^2(k_{\perp} \mp k_{\perp 0})^2}{2m_{\perp}} + \frac{\hbar^2 k_z^2}{2m_z}, \quad (1)$$

где k_z , k_{\perp} – составляющие волнового вектора \mathbf{k} вдоль оси симметрии и в перпендикулярной ей плоскости; m_{\perp} , m_z – составляющие эффективной массы в соответствующих направлениях; $\frac{\hbar^2 k_{\perp 0}}{2m_z} = \Delta = \text{const}$ – глубина петли экстремумов.

В работе [3] сообщается о наблюдении расщепления линии циклотронного поглощения в системе GaSb-InAs-GaSb, которое объясняется законом дисперсии (1), и полученная ими глубина петли экстремумов

$$\Delta = \frac{\hbar^2 k_{\perp 0}}{2m_{\perp}} = 10^{-4} \text{ эВ.}$$

Пусть на полупроводник с законом дисперсии (1) действует внешнее гармоническое электрическое поле, поляризованное вдоль оси x :

$$E(t) = E_0 e^{i\omega t}. \quad (2)$$

Используя метод нелинейной спектроскопии, развитый в связи с созданием лазеров, получим выражение для тока, первые две фурье-составляющие которого имеют вид:

$$j_x = \sigma E_0 e^{k_0 t} + \sigma \left(\frac{E_0}{E^*} \right)^2 E_0 e^{i3\omega t}. \quad (3)$$

Здесь

$$E^{*2} = \frac{\omega^2 m_{\perp}}{\sqrt{\pi e^2}} (\Delta k_0 T_0)^{1/2} e^{-\Delta/k_0 T_0}.$$

Второе слагаемое выражения (3) -- ток на утроенной частоте, возникающий за счет непараболичности закона дисперсии (1). Если учесть, что $\Delta = 10^{-4}$ эВ, и считать, что $m_{\perp} \approx 10^{-27}$ г, $k_0 T_0 \approx \sqrt{2}\Delta$, получаем $E^* \sim 10$ В/см.

Таким образом, в образце размером 0,1 см при приложении внешнего напряжения амплитудой 0,1 В будет генерироваться напряжение на утроенной частоте с амплитудой порядка 3 мВ. Итак, если приложить излучение в диапазоне длин волн $\lambda \sim 4-0,5$ мм, то в пленках с законом дисперсии (1) возможна генерация излучения субмиллиметрового диапазона.

Следовательно, нам удалось показать, что указанная выше пленочная система полупроводникового твердого раствора, в которой изоэнергетическая поверхность представляет собой тороид, может служить основой создания генераторов излучения в субмиллиметровом диапазоне или далекой ИК-области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белянцев А. М., Генкин В. Н., Козлов В. А., Пискарев В. И. О вкладе непараболичности зоны в нелинейную восприимчивость InSb n -типа в миллиметровом диапазоне // ЖЭТФ. 1970. 59, вып. 3(9). С. 654.
2. Лифшиц И. М., Азбель М. Я., Каганов М. И. Электронная теория металлов. М.: Наука, 1971.
3. Иванов Ю. А., Коньев П. С., Сучалькин С. Д., Устинов В. М. Особенности циклотронного поглощения в квантовых ямах GaSb-InAs-GaSb // ЖЭТФ. 1991. 53, вып. 9. С. 470.

Поступило в редакцию 3 июня 1998 г.