

О ВОЗМОЖНОСТИ МОДУЛЯЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ  
ЭФФЕКТА ГАННА В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

И. А. Подуэков, Ю. М. Попов, В. С. Ройтберг

Известно, что если кристалл GaAs n-типа находится в состоянии ганновской генерации, то по нему со скоростью  $v$  движется домен сильного поля /1,2/. При этом внутри домена заметно изменяется ряд оптических характеристик кристалла. Мы рассмотрим ниже изменение коэффициента отражения.

Для частот  $\omega$ , много меньших ширины запрещенной зоны, комплексный показатель преломления имеет вид

$$N^2 = \epsilon \left[ 1 - \frac{4\pi e^2}{\epsilon \omega(\omega - i\nu)} \sum_{\mathbf{k}} \frac{r_{cc}(\mathbf{k})}{m_{\mathbf{k}}} \right]. \quad (I)$$

Здесь  $\epsilon$  - постоянная диэлектрическая проницаемость,  $\nu$  - частота столкновений,  $r_{cc}(\mathbf{k})$  - населенности уровней в зоне,  $m_{\mathbf{k}}$  - эффективная масса в зоне проводимости.

Будем считать, что закон дисперсии в зоне проводимости параболический вблизи главного и  $\nu_0$  побочных минимумов (рис. 1). Населенности уровней внутри домена можно считать максвелловскими с разными температурами:  $T$  - для "легких" и  $T_0$  - для "тяжелых" электронов, причем  $T > T_0$ .

Тогда выражение (I) имеет простой вид

$$N^2 = \epsilon \left[ 1 - \frac{\Omega^2}{\omega(\omega - i\nu)} \right]. \quad (2)$$

При этом вне домена

$$\Omega = \Omega_0 = \left( \frac{4\pi n_0 e^2}{m_0 \epsilon} \right)^{1/2},$$

$$\Omega = \Omega_0 \left[ 1 - \frac{1 - \frac{m_0}{m_1}}{1 + \frac{1}{\nu_0} \left( \frac{m_0}{m_1} \right)^{3/2} \exp(\Delta/T)} \right]. \quad (3)$$

Здесь  $n$  — полная концентрация электронов в зоне проводимости.

Уменьшение плазменной частоты внутри домена связано с тем, что часть электронов под действием электрического поля перешла в побочные минимумы, где их эффективная масса  $m_1 > m_0$ . Оценка по формуле (3) для параметров, характерных для GaAs при небольшом превышении над порогом ганновской генерации дает:

$$(\Omega_0 - \Omega)/\Omega_0 \approx 0,06$$

Излучение, частота которого лежит в интервале  $\Omega < \omega < \Omega_0$ , испытывает сильное плазменное отражение только вне домена.

Известно [2], что при концентрации электронов  $n > n_1$  при небольшом превышении над порогом возникает сильная ударная ионизация, что может привести к искажению ганновских осцилляций, расщеплению домена и пр.

Это соответствует для GaAs  $\Omega_0 = 2,3 \cdot 10^{14} \text{ сек}^{-1}$ . Эффективная модуляция излучения в диапазоне  $\Omega < \omega < \Omega_0$  может быть экспериментально достигнута, если луч падает под прямым углом к направлению ганновской генерации в кристалле и сфокусирован на площади порядка боковой поверхности домена. Последнее может быть достигнуто за счет выбора образца GaAs с длиной домена большей длины волны излучения.

Полученные результаты сильно изменяются, если кристалл в условиях ганновской генерации помещен в магнитное поле. В случае, когда циклотронная частота  $\omega_c > \Omega_0$  и для циркулярно-поляризованного излучения, распространяющегося вдоль магнитного поля, можно показать, что внутри домена появляются два интервала сильно-го магнетоплазменного отражения

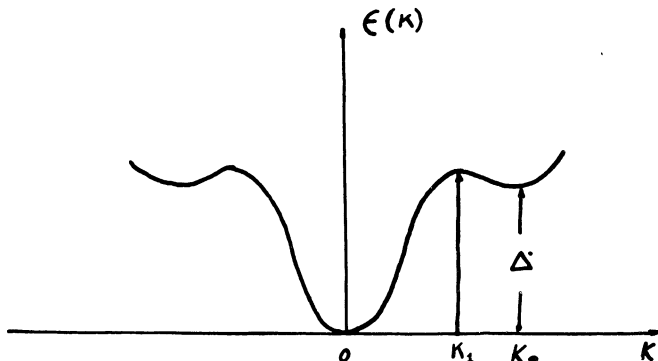
$$\omega_c < \omega < \frac{\omega_c}{2} + \left[ \left( \frac{\omega_c}{2} \right)^2 + \Omega_0^2 \frac{n_0}{n} \right]^{1/2} \quad (4)$$

$$\omega_c < \omega < \frac{\omega_c}{2} + \left[ \left( \frac{\omega_c}{2} \right)^2 + \Omega_0^2 \frac{n_0}{m_1} \frac{\nu_0 n_1}{n} \right]^{1/2}. \quad (5)$$

Вне домена существует только один интервал

$$\omega_c < \omega < \frac{\omega_c}{2} + \left[ \left( \frac{\omega_c}{2} \right)^2 + \Omega_0^2 \right]^{1/2}. \quad (6)$$

Здесь  $n_1$  — концентрация электронов в побочных минимумах,  $\bar{\omega}_c = \omega_c n_0 / n_1$ . Отметим, что изменение магнитного поля сдвигает интервал частот, в котором существует отражение.



Р и с. I. Закон дисперсии в зоне проводимости полупроводника типа GaAs.

Из (4) и (5) видно, что здесь имеются более широкие возможности для модуляции излучения. В частности, излучение с частотой в области (5) испытывает сильное отражение только внутри домена. Если излучение падает не перпендикулярно, а вдоль направления ганновской генерации, проходя через прозрачный катод, то оно будет проходить через кристалл, только если не встретит на пути домен (например, когда домен жончер у анода и еще не появился у катода). При этом частота модуляции определяется временем возникновения домена. Отметим, наконец, что частота модуляции  $\omega_m$ , равная частоте ганновских осцилляций, может быть доведена до величины  $\omega_m \approx \Delta\omega$ , где  $\Delta\omega$  — межмодовое расстояние в ПКГ. Таким образом, если бы удалось осуществить с помощью эффекта Ганна модуляцию излучения с частотой порядка ширины запрещенной зоны (например, с помощью эффекта Франца-Келдыша в домене /3/), то можно было бы надеяться на получение в определенных условиях прикудательной синхронизации мод в ПКГ.

Поступила в редакцию  
17 декабря 1972 г.

## Л и т е р а т у р а

1. А. Ф. Волков, Ш. М. Коган. УФН, 26, 633 (1968).
2. М. Е. Левинштейн, М. С. Шур. ФТП, 5, 1791 (1971).
3. P. Guetin, D. Boccon-Gibod. Appl. Phys. Letts., 12, 161 (1968).