

САМОПРОИЗВОЛЬНЫЕ ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В СПЕКТРЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО КВАНТОВОГО ГЕНЕРАТОРА

А.И.Варлашкин, А.А.Плешков, В.Г.Трухан, В.В.Цветков

Известно, что переходные процессы в полупроводниковом квантовом генераторе (ПКГ), происходящие самопроизвольно или под действием управляющих сигналов [1-3] сопровождаются изменением инверсной населенности в активной области генератора, коэффициента усиления и положения его максимума по частоте. В силу этого при переходных процессах, кроме интенсивности, может изменяться спектральный состав генерируемого излучения [8].

Здесь сообщаются предварительные результаты наблюдения быстрых изменений спектра излучения ПКГ из GaAs. Обнаружены самопроизвольные изменения интенсивности спектральных компонент излучения, которые по аналогии с [1] можно назвать частотной автомодуляцией, в отличие от автомодуляции интегрального светового потока.

В работе использовался дифракционный спектрограф ДФС-12 и электронно-оптический прибор "Кентавр" с временным разрешением $\sim 10^{-11}$ сек. Инжекция производилась импульсами тока 100 нсек при температуре 78°K.

Входная щель спектрографа выделяла из всего *p-n*-перехода участок шириной $20 + 50$ мкм, содержащий один пространственный канал излучения.

При наблюдении быстрых изменений спектра излучения необходимо учитывать соотношение неопределенностей для волновых процессов. Анализ показывает, что при спектральном разложении с помощью дифракционной решетки время установления спектра близко к величине $1/\Delta\nu$ ($\Delta\nu$ - частотный интервал процесса) и равно:

$$t_{\text{уст}} = kNT, \quad (1)$$

где k - порядок спектра, N - число щелей, участвующих в разложении, T - период световой волны. Из (1) видно, что для получения необходимого временного разрешения нужно ограничить порядок интерференции kN , что приводит к уменьшению спектрального разрешения. Для эксперимента время установления спектра было выбрано $\sim 5 \cdot 10^{-11}$ сек и спектральное разрешение $\sim 1,0$ Å. Результаты наблюдений изложены ниже.

а) Генератор с пространственно однородной инжекцией. Типичные фотохронограммы спектра приведены на рис. 1, *a* – *в* для различных токов инжекции. При превышении порогового тока примерно на 30% ширина спектральной полосы стабилизируется на уровне 5–6 межмодовых интервалов аксиальных мод $\Delta\lambda$ и при дальнейшем увеличении тока почти не меняется и не сдвигается до 3–4-х кратного превышения порога. Как правило, некоторые моды, обычно составляющие плотную группу, модулированы по интенсивности с периодом $1-3 \cdot 10^{-10}$ сек.

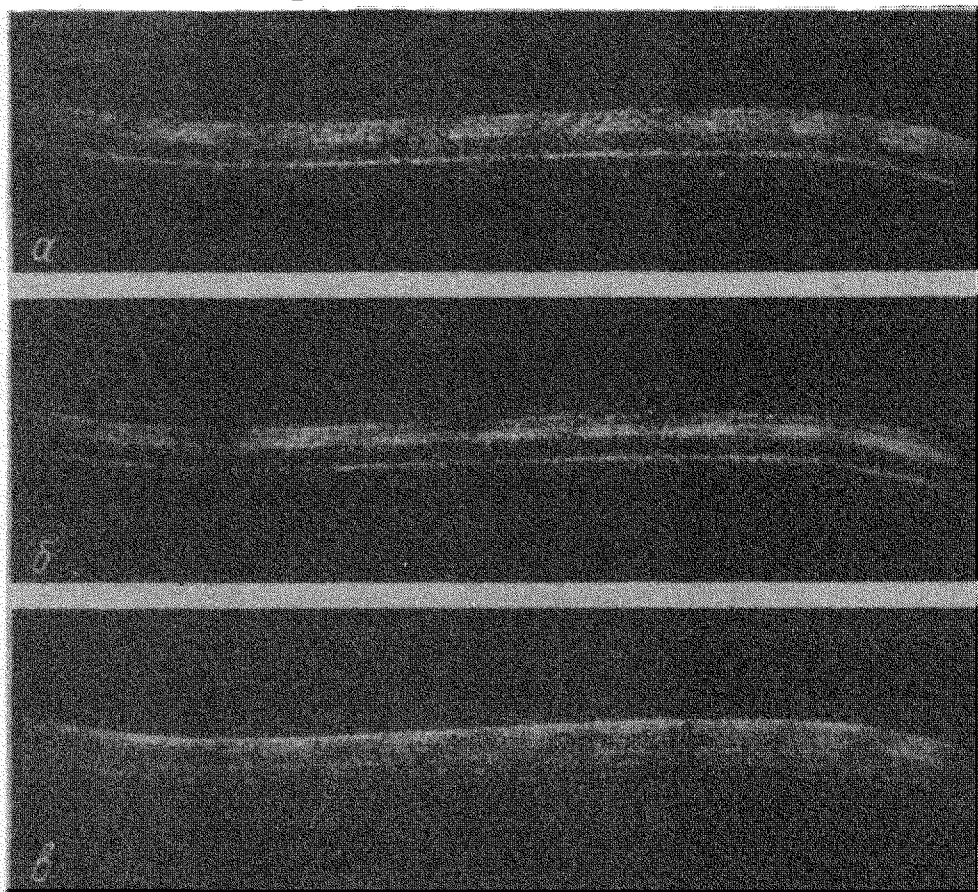


Рис. 1. Хронограмма спектра ПКГ с однородной инжекцией. Развертка 1,2 нсек справа налево. Энергия кванта увеличивается вверх. Ток инжекции: *a*, *б* – 1,5 *a*; *в* – 2,5 *a*

Период модуляции слабо зависит от тока инжекции. Картины модуляции достаточно разнообразны. Встречаются периодические синхронные пульсации в группе мод, несинхронные и более сложные формы модуляции. Период модуляции не соответствует периоду межмодовых биений и много больше его. При некоторых значениях тока инжекции моды размываются и спектр приобретает характерную полосатую структуру.

б) Генератор с неоднородной инжекцией имел три области инжекции примерно равных размеров. Типичные фотохронограммы приведены на рис. 2, *a* – *г*. Общая ширина полосы при большой инжекции достигает $8 \Delta\lambda$. Как и для однородно инжектированного генератора, наблюдаются самопроизвольные изменения интенсивности отдельных мод внутри полосы, с периодом $10^{-10} - 10^{-9}$ сек, обнаруживающие определенные тенденции.

Соседние аксиальные моды, по крайней мере, для исследованных ПКГ, оказываются малоустойчивыми друг относительно друга. Почти не встречается случаев, где они сосуществуют дольше нескольких десятых долей наносекунды.

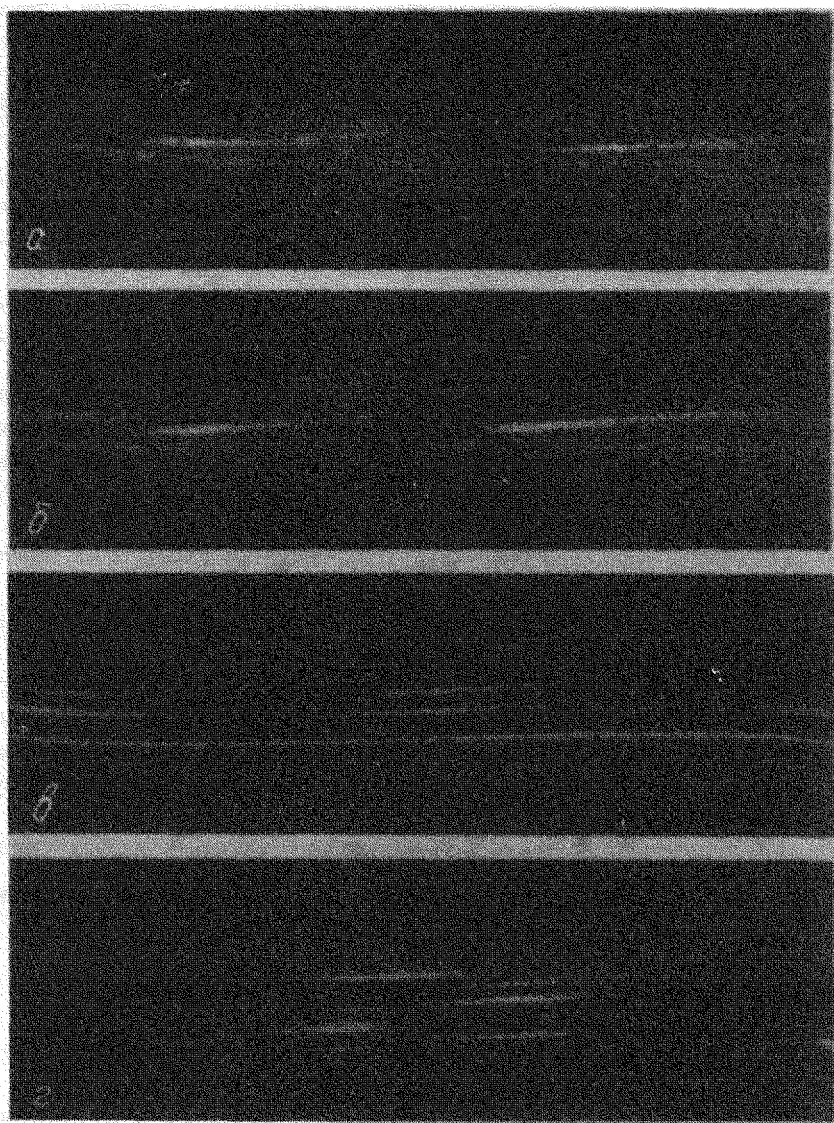


Рис. 2. Хронограмма спектра для ПКГ с тремя областями инжекции.
Токи инжекции (ампер): *a* – 3, 3, 1; *б* – 4, 3, 1; *в* – 5, 3, 1; *г* – 6, 3, 0

Менее зависимы друг от друга и могут сосуществовать дольше моды, разделенные двумя–тремя интервалами $\Delta\lambda$. Для этих мод наблюдаются переключения интенсивности на соседние низкочастотные моды (рис. 2, *a, б*). При относительно небольшом превышении порога это явление имеет регулярный характер и затрагивает в основном высокочастотные моды, низкочастотные могут при этом излучать без пульсаций (рис. 2, *в*). Следует подчеркнуть, что при наблюдении этих режимов без спектрографа интегральная автомодуляция может быть неглубокой или отсутствовать вовсе.

При малой неравномерности инжекции модуляция отдельных спектральных компонент не исчезает, хотя и становится нерегулярной. В этих режимах общее увеличение инжекции приводит к распространению модуляции на всю полосу, интегральная модуляция как правило, не наблюдается. Анализ фотохронোগрамм показывает, что наряду с движением мгновенного максимума интенсивности по соседним модам, существует и движение последнего по резонансной кривой и от моде к моде. Сдвиг внутри моды прослеживается особенно отчетливо в режимах с большим периодом модуляции (0,5 нсек) и составляет до 0,6 Δλ. При большой неоднородности инжекции появляется четкая интегральная автомодуляция. В этих режимах возникает конкурентное взаимодействие мод внутри отдельного импульса автомодуляции, который нередко состоит из двух групп мод, возбуждаемых последовательно, причем во второй группе генерируют моды, не представленные в первой. Время высвечивания мод составляет при этом $1 - 3 \cdot 10^{-10}$ сек. В режиме синхронизации автомодуляции внешним сигналом [4] также наблюдаются явления конкуренции соседних по частоте мод и сдвиг максимума интенсивности по контуру моды, однако более синхронно.

Таким образом, для исследованных случаев однородной и неоднородной (три области) инжекции наблюдается самопроизвольная модуляция интенсивности отдельных мод и групп мод с временами $10^{-10} - 10^{-9}$ сек, движение максимума интенсивности по контуру моды, поочередное высвечивание групп мод (при глубокой интегральной автомодуляции). Эти явления по-видимому, не могут быть объяснены нагревом кристалла. Известно также, что линия излучения в полупроводниках уширена однородно [5]. Их можно объяснить в рамках предположения о зависимости коэффициента усиления в данной моде от интенсивности других мод. Подобное представление о нелинейном взаимодействии мод используется для объяснения многомодовой генерации ПКГ [6], возможно, этот же подход позволит объяснить и частотную автомодуляцию. Изложенные экспериментальные результаты показывают, что предложенные ранее объяснения автомодуляции [7, 8], не учитывающие многомодовость излучения, нуждаются в дальнейшем уточнении.

Авторы благодарны Л.А.Ривлину за внимание к работе и ценные советы.

Литература

Поступила в редакцию
4 мая 1970 г.

- [1] В.Д.Курносков, В.И.Магальяс, А.А.Плешков, Л.А.Ривлин, В.Г.Трухан, В.В.Цветков. Письма в ЖЭТФ, 4, 449, 1966.
- [2] Ю.А.Дрожбин, Ю.П.Захаров, В.В.Никитин, А.С.Семенов, В.А.Яковлев. Письма в ЖЭТФ, 5, 180, 1967.
- [3] В.А.Грехнев, В.Д.Курносков, А.А.Плешков, О.Н.Прозоров, Л.А.Ривлин, А.Т.Семенов, В.В.Цветков, В.С.Шильдяев. ФТП (отдельный выпуск), Физика электронно-дырочных переходов и полупроводниковых приборов, стр. 30, 1969.
- [4] В.И.Магальяс, А.А.Плешков, Л.А.Ривлин, А.Т.Семенов, В.В.Цветков, Письма в ЖЭТФ, 6, 550, 1967.
- [5] И.А.Полужков, Ю.М.Попов, Н.Н.Шуйкин. IX Международная конференция по физике полупроводников. Аннотация докладов, 193, 1968.
- [6] Н.Н.Шуйкин. Канд. диссертация, 1970.
- [7] Н.Г.Басов, В.Н.Морозов. ЖЭТФ, 57, 617, 1969.
- [8] Л.А.Ривлин. Изв. высш. уч. зав., сер. Радиофизика. 12, 1796, 1969.