

УДК 621.382.323; 621.382.82

В.И. Тимофеев, д-р техн. наук, Е.М. Фалеева

## Анализ схемных параметров субмикронных гетероструктур с квантовыми точками

В работе представлены результаты расчета схемных и частотных параметров гетеротранзистора с квантовыми точками, полученные с помощью численного физико-топологического моделирования транзисторной структуры.

Results of calculation quantum points heterotransistor's circuit and frequency parameters are presented in the paper. These parameters were obtained from numeric two-dimensional physical-topological model of transistor structure.

### Введение

В предыдущих работах авторов рассматривались вопросы, связанные с физико-топологическим моделированием субмикронных структур с квантовыми точками (КТ) [1-5]. Полученные на этапе физико-топологического моделирования вольт-амперные характеристики (ВАХ) позволяют рассчитать параметры схемной модели для дальнейшего схемотехнического моделирования и анализа выходных частотных характеристик транзисторов с КТ.

### Расчет ВАХ и схемных параметров

При моделировании ВАХ использовалась структура, топология которой представлена в работе [5] со следующими параметрами: длина затвора 0,5 мкм, ширина затвора 10 мкм, толщина канала 0,05 мкм, концентрация КТ в канале составляла  $5 \cdot 10^{-10} \text{ см}^{-2}$ . Полученные при физико-топологическом моделировании двумерные распределения скорости и концентрации носителей заряда с учетом релаксационных процессов позволили рассчитать полный ток через транзистор при заданных электрических смещениях на электродах и малосигнальные крутизну и выходную проводимость, входную и проходную емкости гетеротранзистора с квантовыми точками (КТ).

На рис. 1, 2 представлены вольт-амперные характеристики для обычного гетеротранзистора и гетеротранзистора с квантовыми точками соответственно.

Рост тока и смещение точки перегиба ВАХ (рис. 2) при открытом канале ( $V_{зи}=0$ ) по сравнению с обычным гетеротранзистором связаны с максимальной инжекцией в канал с двумерным

электронным газом электронов проводимости из КТ. По мере перекрытия канала переход характеристик в область насыщения происходит при больших значениях выходного напряжения. Как показано в работах [1-4] в транзисторах с КТ достигаются более высокие средние значения дрейфовой скорости электронов за счет инжекции в канал электронов с малыми начальными

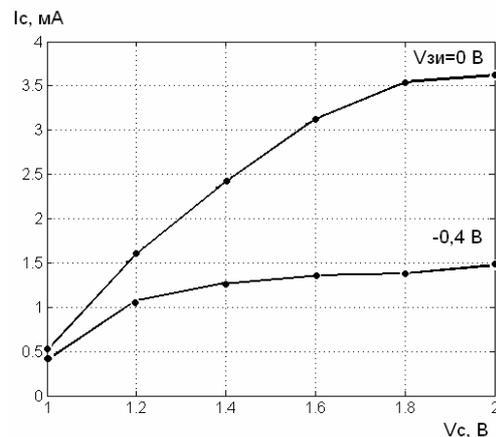


Рис. 1. ВАХ гетеротранзистора

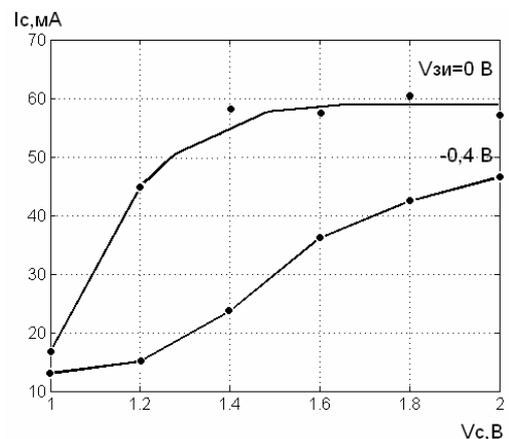


Рис. 2. ВАХ гетеротранзистора с КТ

энергиями, что в значительной степени определяет вид ВАХ. Кроме того, существенной особенностью характеристик, связанной с инжекцией из КТ, является рост тока стока во всем диапазоне питающих напряжений, что позволяет получать более высокие значения мощности транзистора. Для анализа частотных характеристик транзистора использовалась схемная модель, приведенная на рис. 3 и матричный метод, в соответствии с которым определялась Y-матрица, а по ней — матрица S-параметров транзистора. Номиналы паразитных элементов схемной модели взяты из ра-

боты [6]. Для расчёта крутизны, выходной проводимости, а также входной и проходной емкостей использовался метод, описанный в работе [7]. В результате получены следующие параметры малосигнальной модели для типичного гетеротранзистора:  $S_0=5,4$  мСм,  $G_{cu}=2,5$  мСм,  $C_{3u}=7,5$  фФ,  $C_{3c}=1,92$  фФ; для гетеротранзистора с КТ:  $S_0=48$  мСм,  $G_{cu}=30$  мСм,  $C_{3u}=18$  фФ,  $C_{3c}=38$  фФ. Обращает на себя внимание заметно более высокие значения крутизны и выходной проводимости транзистора с КТ, что также связано с ростом концентрации подвижных носителей заряда с высокими дрейфовыми скоростями.

На рис. 4 приведены значения модулей для S-параметров гетеротранзистора и гетеротранзистора с КТ, а также коэффициент усиления по мощности, который рассчитывался как:

$$K_P = \frac{4|Y_{21}|^2 \operatorname{Re}Y_{BX} \cdot \operatorname{Re}Y_{BЫX}}{|(Y_{11} + Y_{BX})(Y_{22} + Y_{BЫX}) - Y_{21} \cdot Y_{12}|^2}$$

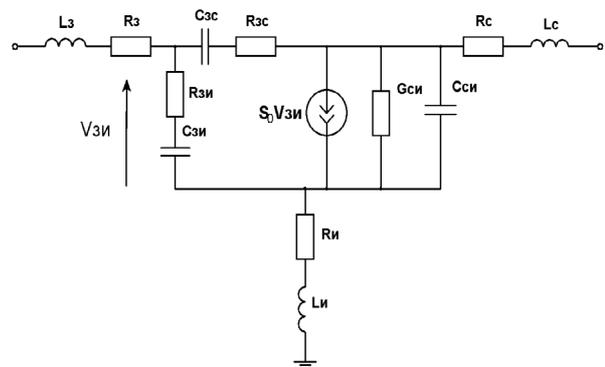


Рис. 3. Малосигнальная схемная модель гетеротранзистора

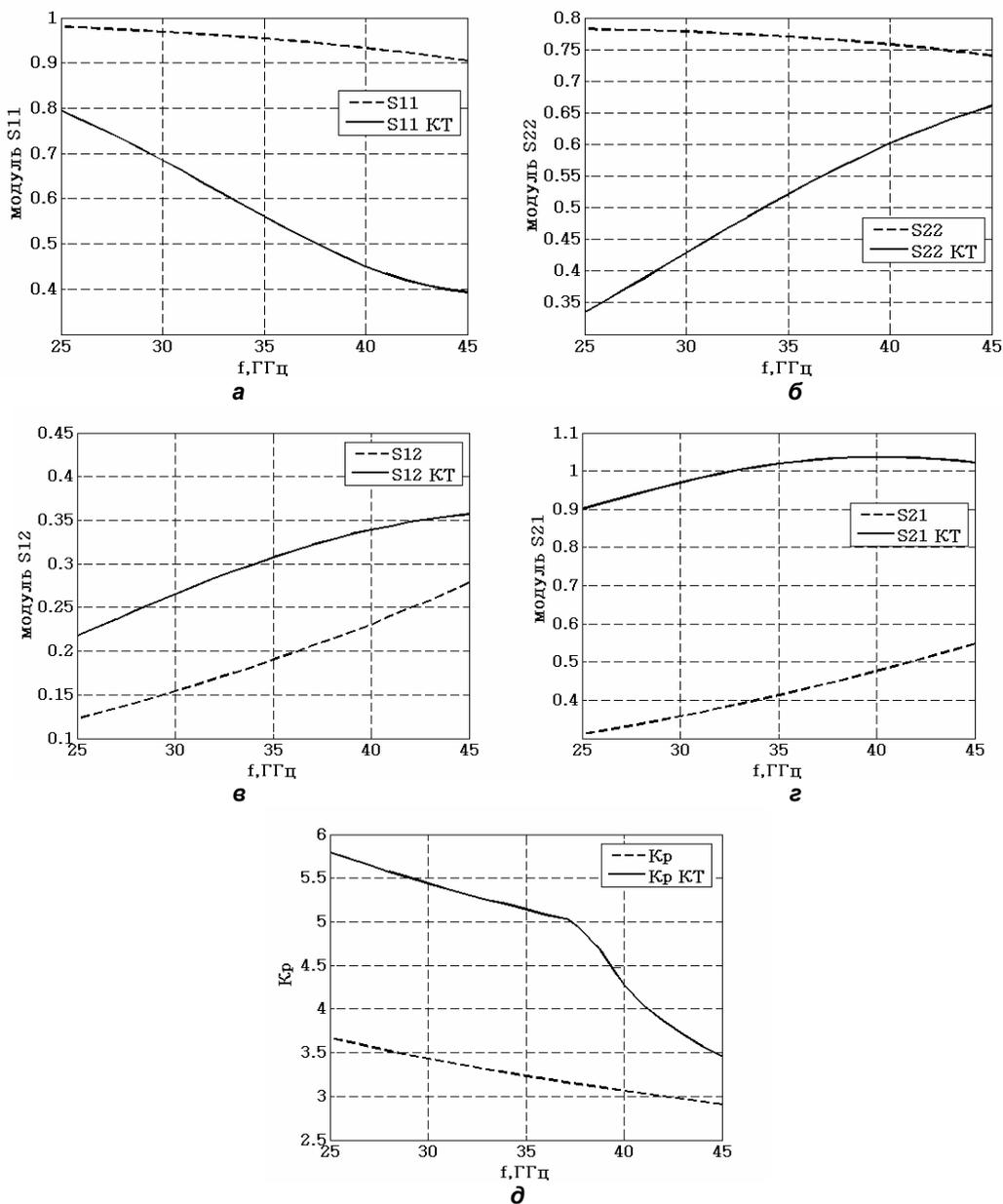


Рис. 4. S-параметры (а-г) и коэффициент усиления (д) для гетеротранзистора и гетеротранзистора с КТ

Несмотря на более высокие значения входной и проходной емкостей гетеротранзистора с КТ, его коэффициент передачи по мощности превышает соответствующий коэффициент для обычного гетеротранзистора во всем диапазоне рассматриваемых частот (рис. 4,д) за счет существенно больших значений крутизны. Расширение диапазона рабочих частот гетеротранзистора с КТ может быть достигнуто при уменьшении длины затвора и других параметров структуры.

### Выводы

Полученные в результате моделирования вольт-амперные характеристики для гетеротранзистора и для гетеротранзистора с КТ показали, что в результате встраивания КТ в гетероканал ток стока возрастает более чем на порядок, что увеличивает выходную мощность при тех же значениях питающих напряжений. Показан механизм насыщения тока стока на ВАХ транзистора с КТ (рис. 2), когда происходит полная инжекция электронов из КТ и дальнейший рост тока прекращается.

Приведенные в работе результаты расчета параметров схемной модели и частотных характеристик показывают, что гетеротранзисторы с КТ имеют более привлекательные по сравнению с традиционными гетеротранзисторами значения параметров и выходных характеристик.

### Литература

1. Тимофеев В.И., Фалеева Е. М. Моделирование транзистора со встроенными квантовыми точками // 16-я Международная крымская конференция: СВЧ техника и телекоммуникационные технологии: Материалы конф. (11–14 сентября 2006 г.). – Севастополь, 2006. – С.222–224.
2. Тимофеев В.И., Фалеева Е. М. Анализ моделей субмикронного гетеротранзистора с квантовыми точками // Сучасні інформаційно-комунікаційні технології (COMINFO 2006): Тези доповідей. – Київ, 2006. – С. 129–130.
3. Тимофеев В.И., Фалеева Е. М. Численное моделирование транзистора с квантовыми точками на основе соединения нитрида галлия // Электроника и связь: Тематический выпуск «Проблемы электроники». – Киев, 2007. – С. 62–65.
4. Тимофеев В.И., Фалеева Е. М. Анализ субмикронных процессов в субмикронном гетеротранзисторе с квантовыми точками // Электроника и связь: Тематический выпуск «Проблемы электроники». – Киев, 2008. – С. 100–103.
5. Тимофеев В.И., Фалеева Е. М. Релаксационные процессы в субмикронных структурах с квантовыми точками // 18-я Международная крымская конференция: СВЧ техника и телекоммуникационные технологии: Материалы конф. (8-12 сентября 2008 г.). – Севастополь, 2008. – С.604–606.
6. James R. Shealy, Jiali Wang, Richard Brown Methodology for Small-Signal Model Extraction of AlGaN HEMTs. // IEEE Transactions on Electron Devices. – 2008. – Vol. 55, № 7. – P. 1603–1614.
7. Москалюк В.А., Тимофеев В.И. Моделирование малошумящего режима субмикронного ПТШ // Изв. ВУЗов. Сер. Радиоэлектроника. – 1993.– Т.36. – №3. – С.57–63.