

Потенциальные электрические характеристики интерференционных транзисторов на различных материалах

© И.И. Абрамов, Ю.А. Берашевич, А.Л. Данилюк

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
220027 Минск, Белоруссия

(Поступило в Редакцию 19 октября 1998 г.)

Проведен теоретический анализ электрических характеристик квантовых интерференционных T -транзисторов на материалах GaAs, InAs, InSb, Si с учетом зависимости эффективных масс от размеров квантовой проволоки. Показано, что при экстремально малых размерах проволоки ни один из материалов не будет иметь существенных преимуществ перед другими по частотным характеристикам исследованных транзисторов.

Наряду с известными приборами на эффектах одноэлектронного и резонансного туннелирования перспективными для реализации разнообразных электронных и оптоэлектронных сверхбыстродействующих устройств являются структуры на квантовых проволоках [1]. Одна из таких структур, представляющая значительный интерес, — квантовый интерференционный T -транзистор [2,3]. Так, в работе [4] был осуществлен теоретический анализ T -транзисторов (рис. 1) на GaAs и показаны их основные достоинства и недостатки.

Целью данной работы является выяснение потенциальных электрических характеристик T -транзисторов на различных материалах путем их теоретического исследования.

Для этого в работе анализировались транзисторы на четырех перспективных материалах нанoeлектроники [5], а именно GaAs, InAs, InSb, Si. Для исследования также выбирались очень малые геометрические размеры транзисторов. Длины приборов брались $d_2 = 1000 \text{ \AA}$, а их ширины $d_1 = 10 \text{ \AA}$. Площадь поперечного сечения проволоки $S = 10 \times 10 \text{ \AA}$. Ширина квантовой проволоки выбиралась экстремально малой, что связано с существенным прогрессом методов нанотехнологии и возможностью уже в настоящее время изготавливать проволоки с шириной около 20 \AA [6]. Анализ проводился при температуре $T = 4.2 \text{ K}$ для того, чтобы максимально уменьшить влияние процессов рассеяния.

В основу модели интерференционного T -транзистора был положен метод матрицы рассеяния [7]. Принципиальное отличие используемой нами модели прибора от модели работы [4] заключалось во введении зависимости эффективной массы от размеров квантовой проволоки, что связано с их экстремально малыми величинами. Для этих целей использовалась модель работы [8].

Указанные геометрические размеры и модификация модели T -транзистора привели к следующим наиболее существенным отличиям наших результатов от исследований работы [4]. Оказалось, что учет зависимости эффективных масс от размеров приводит к появлению области насыщения на вольт-амперных харак-

теристиках даже при малых смещениях на стоке V_{sd} , меньших 50 mV . Результаты для прибора рис. 1, *a* для различных материалов приведены на рис. 2, *a*. Видно, что характеристики имеют типичный для полевых транзисторов вид. Поэтому наш вывод противоречит выводу работы [4] о неприменимости T -транзисторов для усиления сигналов вследствие отсутствия насыщения в области рабочих напряжений. Заметим, что наличие насыщения существенно важно не только в приложении к аналоговым, но и к логическим интегральным схемам.

Результаты расчета максимальной выходной частоты $f_{\max 1}$ транзистора (рис. 1, *a*) для различных материалов в случае учета зависимости эффективных масс от размеров и без учета этой зависимости приведены на рис. 2, *b* и *c* соответственно. Видно, что учет зависимости частотных характеристик от ширины квантовой проволоки принципиально важен при оценке потенциальных возможностей

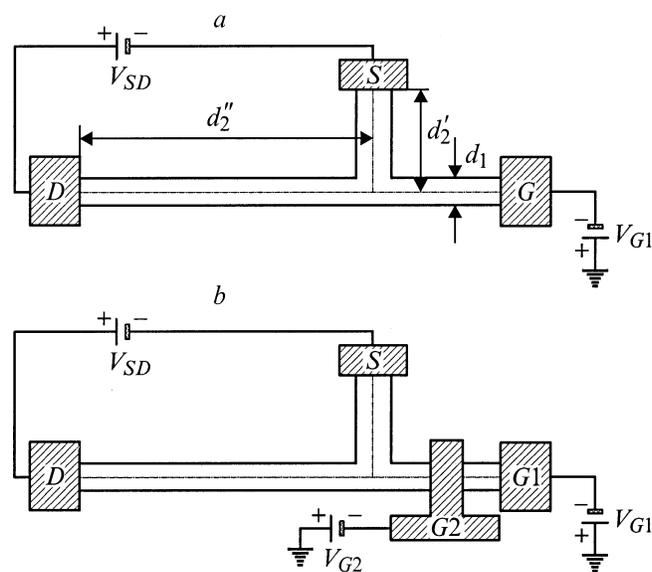


Рис. 1. Структуры T -транзисторов: *a* — однозатворная ($d_2 = d'_2 + d''_2$), *b* — двухзатворная; *S* — исток; *D* — сток; *G*, *G*₁, *G*₂ — затворы.

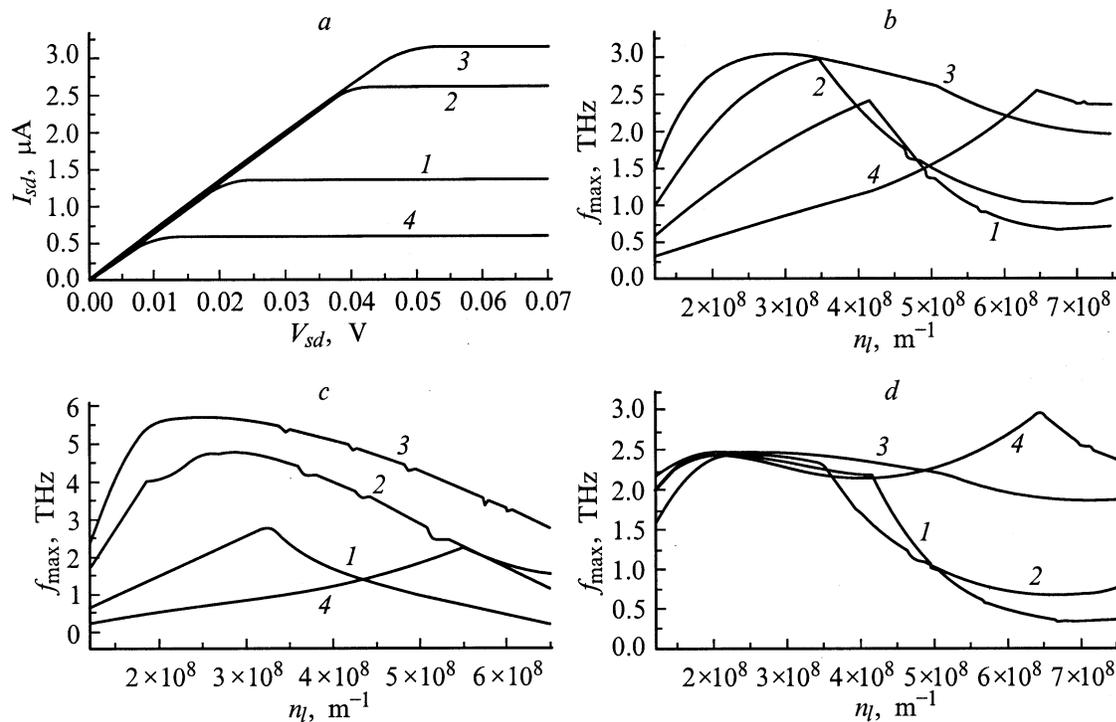


Рис. 2. Электрические характеристики T -транзисторов на различных материалах (1 — GaAs, 2 — InAs, 3 — InSb, 4 — Si): вольт-амперные характеристики (а) транзистора (рис. 1, а) с $n_l = 1.6 \cdot 10^8 \text{ m}^{-1}$ при $V_g = 1 \text{ V}$; частота f_{max1} транзистора (рис. 1, а) в случае учета (б) и неучета размера прибора (с); частота f_{max2} транзистора (рис. 1, б) с учетом размера прибора (д).

транзистора. Оказалось, что для каждого материала существует концентрация носителей заряда n_l (одномерная), при которой частотные характеристики наилучшие. Также заметим, что максимальные значения частот для различных материалов отличаются менее существенно по сравнению со случаем неучета зависимости эффективных масс от размеров (рис. 2, с). В основном это связано с меньшим различием увеличившихся значений масс для всех материалов при данных размерах квантовых проволок.

Однако наиболее неожиданный результат был получен для максимальной выходной частоты f_{max2} (рис. 2, д) транзистора с двумя затворами (рис. 1, б). Как видно из рисунка, транзистор на кремнии обладает приемлемыми (не худшими) частотными характеристиками во всем диапазоне исследованных концентраций носителей.

Таким образом, при экстремально малых ширинах проволоки ни один из исследованных материалов не будет иметь существенных преимуществ перед другими по частотным характеристикам проанализированных квантовых интерференционных T -транзисторов. Этот вывод качественно согласуется с результатами работы [9], полученными, однако, при моделировании электрических характеристик МДП транзисторов как элементов ультрабольших интегральных схем с экстремально малыми длинами каналов.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Республиканских научно-технических программ "Информатика", "Низкоразмерные системы" и "Наноэлектроника".

Список литературы

- [1] Алферов Ж.И. // ФТП. 1998. Т. 32. Вып. 1. С. 3–18.
- [2] Datta S. // Superlattices and Microstructures. 1989. Vol. 6. N 1. P. 83–93.
- [3] Nanostructure Physics and Fabrication / Ed. M.A.Reed, W.P.Kirk. Boston: Academic Press, 1989. 517 p.
- [4] Subramaniam S., Bandyopadhyay S., Porod W. // J. Appl. Phys. 1990. Vol. 68. N 9. P. 4861–4870.
- [5] Обухов И.А. // Матер. VII межд. Крымской микроволновой конф. Севастополь, 1997. С. 383–385.
- [6] Liu H.I., Biegelsen D.K., Ponce F.A. et al. // Appl. Phys. Lett. 1994. Vol. 64. N 11. P. 1383–1385.
- [7] Shapiro B. // Phys. Rev. Lett. 1983. Vol. 50. N 10. P. 747–750.
- [8] Ghoshal A., Mitra D., Ghatak K.P. // II. Nuovo Chimento. 1988. Vol. 12D. N 7. P. 891–899.
- [9] Fishetti M.V., Laux S.E. // IEEE Trans. 1991. Vol. ED-38. N 3. P. 634–660.