**Тимофєєв Володимир Іванович. Моделювання субмікронних компонентів інтегральних схем на сполуках AIIIBV: дис... д-ра техн. наук: 05.27.01 / Національний технічний ун-т України "Київський політехнічний ін-т". - К., 2004.**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | ТИМОФЄЄВ В.І. *Моделювання субмікронних компонентів інтегральних схем на сполуках*AIIIBV*.*– *Рукопис.*  Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.27.01 – твердотільна електроніка. – Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”. – м. Київ, 2004.  Запропоновані нові науково обґрунтовані математичні моделі фізичних процесів і субмікронних ефектів у сучасних транзисторних структурах і інтегральних схемах міліметрового діапазону довжин хвиль, які забезпечують рішення важливої прикладної проблеми – розробку перспективних субмікронних транзисторів з бар'єром Шотткі, транзисторів з гетероселективним легуванням і гетеробіполярних транзисторів із заданими параметрами і характеристиками, компонентів і інтегральних пристроїв на їх основі й удосконалювання технології виготовлення.  Проведені комплексні дослідження фізичних ефектів і процесів у субмікронних інтегральних структурах на основі з'єднань AIIIBV для інтегральних схем із субмікронними розмірами областей активних компонентів і розроблено широкий спектр моделей приладів на основі напівпровідників AIIIBV і їх сполук, включаючи гетероструктури, з урахуванням субмікронних ефектів.  З єдиних позицій проаналізовані, узагальнені і сформульовані фізичні особливості й ефекти, властиві субмікронним структурам з розмірами, порівнянними з довжиною вільного пробігу електронів, обґрунтований і створений ієрархічний ряд математичних моделей різного рівня, визначені функціональні особливості субмікронних приладів і умови застосовності їх моделей до завдань адаптивного проектування. | |
| |  | | --- | | У дисертаційній роботі запропоновані нові науково обґрунтовані математичні моделі, проведені комплексні дослідження фізичних механізмів і процесів у субмікронних інтегральних структурах на основі напівпровідникових сполук AIIIBVдля інтегральних схем із субмікронними розмірами областей активних компонентів і розроблено широкий ряд моделей приладів, включаючи гетероструктури, з урахуванням субмікронних ефектів, що забезпечує розв’язання значної науково-прикладної проблеми в галузі технічних наук – *розробки перспективних субмікронних транзисторів з бар'єром Шотткі, транзисторів з гетероселективним легуванням і гетеробіполярних транзисторів із заданими параметрами і характеристиками, інтегральних пристроїв на їх основі і удосконалення технології виготовлення.*  Розв’язання даної проблеми забезпечується системними підходами до моделювання субмікронних багатошарових польових структур на основі напівпровідникових сполук AIIIBV, розробкою способів і єдиних підходів до аналізу нестаціонарних процесів дрейфу носіїв заряду в сильному електричному полі на основі релаксаційних рівнянь, розробкою ряда моделей для аналізу субмікронних ефектів, опису фізичних процесів взаємодії хвиль міліметрового діапазону з потоками носіїв заряду в сильному електричному полі, створенням адаптивних процедур і алгоритмів аналізу пристроїв із субмікронними компонентами для моделювання їх частотних, часових і шумових характеристик.  1. Найбільш істотні теоретичні результати:  – уперше з єдиних позицій проаналізовані, узагальнені та сформульовані закономірності та особливості фізичних ефектів, властивих субмікронним структурам з розмірами, порівнянними з довжиною вільного пробігу електронів, обґрунтовано й створено ієрархічний ряд математичних моделей різного рівня, визначені функціональні особливості субмікронних приладів і умови застосовності їх моделей до завдань адаптивного проектування;  – проаналізовано швидкісні властивості транзисторних структур і виявлено вплив субмікронних ефектів шляхом доповнення системи фундаментальних рівнянь переносу носіїв заряду в багатодолинних напівпровідниках обґрунтованою системою двовимірних релаксаційних рівнянь збереження імпульсу, енергії і часток для аналізу нестаціонарного дрейфу з урахуванням різних видів розсіювання;  – створені математичні моделі, що описують граничні режими роботи транзисторів: субпороговий режим, режим відкритого каналу й інверсний режим; визначений вплив цих ефектів на функціонування приладів; визначені фактори, які визначають нелінійні властивості транзисторів у широкому діапазоні живлячих напруг і рівнів сигналу;  – установлені джерела шуму, запропоновані нові моделі і методика аналізу шумових характеристик, які відрізняються врахуванням процесів нестаціонарного переносу, впливу параметрів транзисторних структур і бар'єра на границі канал-підкладка і дана фізична інтерпретація експериментальних характеристик субмікронних польових транзисторів у малошумлячому режимі;  – виявлено новий принцип керування струмом субмікронного транзистора при напругах на затворі, близьких до відсічки, пов'язаний з надбар'єрною „емісією” електронів з витоку, розвинута та показана можливість керування струмом стоку не тільки внаслідок зміни товщини провідного каналу, але й за рахунок впливу стокової напруги на просторовий заряд у витоковій частині каналу, що актуально для приладів, які функціонують у режимі малого шуму, а також транзисторів з довжиною затвору біля 0,1 мкм;  – розвинута та вдосконалена методика двовимірного моделювання транзисторів з високою рухливістю електронів на основі релаксаційної системи рівнянь, що дозволяє описувати субмікронні ефекти: «сплеск» дрейфової швидкості, розігрів у сильному електричному полі, міждолинний перенос, шунтуючий вплив підкладки, квазібалістичний ефект;  – розроблені та проаналізовані двовимірні математичні моделі й алгоритми моделювання субмікронних гетеробіполярних транзисторів у дифузійно-дрейфовому наближенні для електронів і дірок, що включають рівняння для аналізу впливу сильного легування й розігрівних ефектів, визначені області з найбільшими градієнтами електричних полів і температур, що дозволяє виробити рекомендації для оптимізації параметрів транзисторних структур;  – фізично обґрунтована і розроблена методика врахування розмірних ефектів, включаючи вплив ефектів у третьому вимірі транзисторних структур, що визначає особливості функціонування активних і пасивних компонентів монолітних інтегральних схем КВЧ, зокрема, розподілених ефектів і впливу технологічних неоднорідностей, розроблені моделі і алгоритми для аналізу НВЧ і КВЧ компонентів і кіл, придатні для моделювання монолітних і об'ємних інтегральних схем;  – запропонована методика моделювання малошумлячих і широкосмугових субмікронних пристроїв на основі транзисторів на сполуках AIIIBV, ліній передачі на напівпровідниковій підкладці складної конфігурації. Отримано аналітичні вирази для аналізу характеристик надширокосмугових підсилювачів з розподіленим підсиленням з неоднорідними секціями, придатні для оптимізації параметрів підсилювачів.  2. Найбільш істотні практичні результати:  – запропоновано ієрархічний ряд математичних моделей, орієнтований на дослідження фізичних характеристик транзисторних структур і інженерні розрахунки в практиці проектування електронних компонентів;  – параметри структур і апроксимації, отримані на основі двовимірного моделювання, можуть використовуватися в пакетах схемотехнічного проектування субмікронних структур і оптимізації параметрів напівпровідникових структур і їх технології;  – на основі результатів аналізу субмікронних ефектів розроблені критерії оптимального вибору параметрів субмікронних транзисторів і мікроелектронних пристроїв за підсилювальними і шумовими параметрами з урахуванням граничних режимів роботи і нелінійних ефектів, що дозволяє оптимізувати їх характеристики на етапі проектування і виготовлення;  – розроблено математичні моделі субмікронних транзисторів – з бар'єром Шотткі, транзисторів з гетероселективним легуванням і гетеробіполярних транзисторов, придатні для використання в САПР пристроїв міліметрового діапазону;  – розроблені процедури й алгоритми аналізу й спроектовані малошумлячі і багатокаскадні підсилювачі на субмікронних ПТШ і гетеротранзисторах з довжиною затвору 0,2–0,4 мкм, що працюють у діапазоні частот 1–40 ГГц на зосереджених елементах і відрізках ліній передачі.  3. Проведено верифікацію розроблених моделей на широкому масиві експериментальних даних: статичних, малосигнальних, частотних підсилювальних і шумових характеристик. Вплив описаних у роботі фізичних ефектів підтверджено експериментальними даними.  За результатами проектування створені та впроваджені приймальні пристрої для авіаційних метеорологічних локаторів, систем супутникового дистанційного зондування земної атмосфери, прикладної радіоастрономії на радіотелескопі РАТАН-600.  Напрям подальших наукових досліджень і прикладних розробок та опис фізичних ефектів пов'язані із застосуванням нових матеріалів (наприклад, на основі нітридів елементів ІІІ групи) і характерними розмірами активних компонентів менш 0,1 мкм з урахуванням у транзисторних структурах при моделюванні специфічних фізичних механізмів і ефектів – квантово-розмірних ефектів, ефектів, пов'язаних з високими рівнями легування тонких шарів, нових фізичних процесів у тонкоплівкових багатошарових гетероструктурах та ін. | |