

## ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ НВЧ-ПЕРЕДАВАЧІВ НА ОСНОВІ ПЕРСПЕКТИВНОЇ GaN-ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

К. т. н. Ю. М. Лаврич, д. ф-м. н. С. В. Плаксін, Л. М. Погоріла

Інститут транспортних систем та технологій НАН України

Україна, м. Дніпро

lavrich@westa-inter.com

*Досліджено деякі особливості створення НВЧ-передачів з використанням нітриду галію, який має кращі, ніж традиційні матеріали (кремній та арсенід галію), характеристики: велику ширину забороненої зони, високі значення насиченості дрейфової швидкості електронів, напруги пробою, теплопровідності, хімічної та термічної стійкості. Ці особливості потрібно взяти до уваги при проектуванні пристроїв, в тому числі й таких, з якими розробник стикається вперше і йому потрібно знайти правильне рішення. На прикладі НВЧ передавальних модулів продемонстровано деякі проблеми, які виникають при переході від традиційних Si- та GaAs-технологій до технології на основі GaN, і можливості їх усунення.*

*Ключеві слова: нітрид галію, проектування, НВЧ-передач.*

Як відомо, на сьогодні найбільш освоєними матеріалами для напівпровідникових приладів є кремній та арсенід галію, але, на жаль, вони знаходяться вже на межі своїх можливостей. Останні досягнення науки показують, що потенціал традиційної мікроелектроніки в найближче десятиліття буде вичерпано, і подальший розвиток електроніки буде можливий лише на основі принципово нових фізичних та технологічних ідей [1]. За унікальною сукупністю властивостей, зокрема велика ширина забороненої зони, високі значення насичення дрейфової швидкості електронів, напруги пробою, теплопровідності, хімічної та термічної стійкості, перспективним матеріалом стає нітрид галію GaN. Висока питома щільність надвисокочастотної (НВЧ) потужності GaN-компонентів, максимальна критична напруженість електричного поля, що у 10 разів більша, ніж у кремнію, дозволяють реалізувати високу робочу та пробивну напругу, а це в поєднанні з високою щільністю струму дає можливість в GaN-транзисторах забезпечити питому вихідну потужність на порядок більшу, ніж у GaAs-транзисторах. Застосування нової GaN-елементної бази дозволить більш ніж на порядок зменшити масогабаритні параметри інтегральних схем порівняно з GaAs, а отже і знизити габаритні розміри розроблюваних передавальних пристроїв (ПП). Крім того, значно спрощуються і конструктивно-схемні рішення ПП, оскільки в GaN-елементах високі параметри реалізуються в одиночному транзисторному каскаді, а не у двокаскадних складаннях, як у випадку Si- або GaAs-технологій. Провідні країни вже реалізують процес впровадження GaN-технології у різні види техніки, в тому числі і в радіолокаційні системи. Але в Україні практика створення радіолокаційних систем на основі GaN-технології відсутня, тому її освоєння є важливим науково-практичним завданням. Передавальні пристрої є однією з основних складових частин сучасних локаторів, причому їхні технічні та масо-габаритні характеристики визначають вигляд та можливості виробу. Якісно новий рівень ПП можна забезпечити, використовуючи нову елементну комплектувальну базу, яка складається з функціонально закінчених підсистем: НВЧ інтегрованих функціональних модулів на основі нового напівпровідникового матеріалу — нітриду галію. Однак при введенні нової технології у виробництво НВЧ-передачів виникає ціла низка проблем і труднощів технологічного порядку.

В роботі розглянуто проблеми, які виникають в процесі проектування НВЧ-передачів на GaN-елементній базі, та шляхи їх розв'язання.

Досвід створення твердотілих ПП дозволив нам спільно з КБ «Дніпровське» провести аналіз можливостей проектування ПП на основі GaN-елементної бази. В рамках досліджень було здійснено концептуальне проектування НВЧ ПП з використанням основних характеристик радіолокаційної станції (РЛС) «TIRA» німецького Інституту фізики високих частот та радіолокаційних методів ім. Фраунгофера. ПП розроблено на елементах американської фірми QORVO — розробника, виробника та постачальника радіочастотних систем та рішень, необхідних для створення ПП.

Передавальний пристрій розроблено у двоканальному виконанні. Він працює в частотному діапазоні 2—16 ГГц з можливістю різної модуляції сигналу: ЛЧМ, АМ, ФМ, ФМ1 при тривалості імпульсу 2 мс. З урахуванням конструктивних особливостей нової елементної бази, великої кількості ПП у полотні антени, важливою є задача забезпечення їх конструктивно-схемної та функціональної взаємозамінності, яка вирішується лише за умови надмірності при проектуванні ПП. Необхідні амплітудно-фазові характеристики, можливості управління потенціалом ПП, зміна частот, видів модуляції та інших функцій забезпечуються завдяки реалізації програмно-керованої архітектури.

Питання забезпечення електромагнітної сумісності властиве усім поколінням РЛС, а з урахуванням малих конструктивних розмірів нової елементної бази його розв'язання потребує пошуку нових конструктивно-схемних рішень. Внутрішній об'єм корпусу ПП необхідно сконструювати так, щоб усунути можливість зворотного зв'язку по електромагнітному полю в НВЧ-тракті — розташувати у герметичному об'ємі, заповненому інертним газом під надмірним тиском. У практиці хвилеводної техніки різних діапазонів довжини хвилі давно застосовується технологія використання інертного газу під надмірним тиском. Одним зі способів забезпечення електромагнітної сумісності може бути використання позамежного хвилеводу на робочих частотах у корпусі модуля. Але, зважаючи на проблеми забезпечення герметичності, доцільно розглянути також негерметичну конструкцію з одночасним забезпеченням вологозахисності ПП.

В моностатичній РЛС при розробленні перемикача режимів роботи «прийом/передача» треба враховувати, що тривалість увімкнення GaN-елемента приблизно в чотири рази менше, ніж у кремнієвих транзисторів, а вимкнення — менше приблизно в два рази. Для більш повного використання переваг швидкісного перемикачання GaN-виробів потрібна ретельна компоновка друкованих плат, а також низька індуктивність GaN-транзисторів. Корпуси, в яких розміщуються силові каскади GaN, повинні мати малу індуктивність, щоб уникнути високої індуктивності довгих виводів і з'єднувальних дротів для забезпечення швидких перемикачів.

Специфічність нової елементної бази унеможливує застосування багаторівневих базових несучих конструкцій, тому слід шукати нові варіанти. При виготовленні ПП можна використовувати плати як власної розробки, так і готові для безпосереднього вбудовування в модуль. Використання готових плат дозволяє скоротити час проектування, виключити витрати на освоєння та забезпечити уніфікацію. Але, попри величезний парк готових плат, не завжди вдається підібрати необхідну, наприклад нам не вдалося знайти готову дворівневу конструкцію (плата та блок).

Одним з важливих питань тут є також розроблення в єдиному конструктиві роз'ємного з'єднувача, який би забезпечував ланцюги живлення, контролю, управління та автоматичної заміни ПП. З'єднання та роз'єднання ПП в антенному полотні має здійснюватися у всіх випадках програмно, без участі персоналу.

Тепловий режим розробленого ПП забезпечували базові несучі конструкції з повітряним охолодженням елементів, але забезпечення допустимого температурного режиму всього масиву ПП, залишається складним завданням, оскільки потребує побудови системи охолодження в антенному полотні.

Таким чином, використовуючи власний досвід, ми розглянули шляхи розв'язання проблем, які виникають в процесі проектування НВЧ передавальних модулів на GaN-елементній базі. Сподіваємось, ці рекомендації будуть корисними розробникам інших електронних пристроїв на базі GaN-технології.

#### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Карушкин Н.Ф. Твердотельные компоненты и устройства электронной техники терагерцевого диапазона в Украине. *Радиофизика та електроніка*, 2018, № 3, с. 40–64.

Yu. M. Lavrich, S. V. Plaksin, L. M. Pogorila

#### **Particular aspects of creating microwave transmitters based on a promising GaN element base**

*The study investigates some aspects of creating electronic devices from semiconductor gallium nitride, which has a better (compared to the traditionally used materials, such as silicon and gallium arsenide) set of characteristics, i.e. large gap width, high values of the drift electron saturation rate, voltage breakdowns, thermal conductivity, chemical and thermal stability. These aspects should be considered when designing various devices, including those the developer deals with for the first time and needs to find the right solution. The example of microwave transmission modules is used to demonstrate some of the issues arising when shifting from the traditional Si- and GaAs-based technologies to the GaN-based technology, as well as the possible ways to address them.*

*Keywords: gallium nitride, design, microwave transmission module.*