

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV –0104-10**

Vývoj novej generácie III-N tranzistorov s vysokou pohyblivosťou elektrónov.

Zodpovedný riešiteľ **Ing. Ján Kuzmík, DrSc**

Príjemca **Elektrotechnický ústav, SAV**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

1. Elektrotechnický ústav, SAV
2. Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky
- 3.
- 4.
- 5.

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

1. Inst. of Quantum Electronics and Photonics, EPFL Lausanne, Švajčiarsko
2. Inst. of Microelectronics, Vienna U. of Technology, Rakúsko
3. H. H. Wills Physics Lab., U. of Bristol, Veľká Británia

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

1. J. Kuzmík: Obohacovací III-N tranzistor s N-polaritou a spôsob jeho prípravy, PCT application No. PCT/SK2014/000011
- 2.
- 3.

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

1. Ťapajna, M., Kuzmík, J., : A comprehensive analytical model for threshold voltage calculation in GaN based metal-oxide-semiconductor high-electron-mobility transistors. Applied Phys. Lett. 100 (2012) 113509.
2. Jurkovič, M., Gregušová, D., Palankovski, V., Haščík, Š., Blaho, M., Čičo, K., Fröhlich, K., Carlin, J., Grandjean, N., Kuzmík, J., : Schottky-barrier normally off GaN/InAlN/AlN/GaN HEMT with selectively etched access region,. IEEE Electron Dev. Lett. 34 (2013) 432-434.
3. Kuzmík, J., : Proposal of normally-off InN-channel high-electron mobility transistors. Semicond. Sci Technol. 29 (2014) 035015.
4. M. Ťapajna, N. Killat, V. Palankovski, D. Gregušová, K. Čičo, J.-F. Carlin, N. Grandjean, M.

Uplatnenie výsledkov projektu

Navrhnuté III-N vysoko-frekvenčné HEMT-y môžu značne ovplyvniť rôzne aplikácie ako sú prenos dát s veľmi vysokou hustotou na krátke a stredné vzdialenosti. Na druhej strane budúce GaN spínače budú zaujímavé pre vysoko efektívne prevodníky (DC-DC alebo DC-AC), ktoré umožnia úplne nové prístupy vo výkonovej elektronike. To môže viesť k novým veľmi konkurencie schopným systémom v automobilovej elektronike.

Vybudované pracovisko komplexnej mikrovlnnej charakterizácie je nevyhnutné pri tvorbe modelov polovodičových prvkov a identifikácii ich parametrov. Bez modelov nie je možné simulovať a optimalizovať obvody s týmito prvkami a teda ani ich efektívne použiť v aplikáciách. Ďalšie uplatnenie modelov je pri spätnom modelovaní, pričom je možné extrahovať niektoré parametre viazané na technológiu a použité materiály, čím je umožnená spätná väzba pre optimalizáciu technológie.

CHARAKTERISTIKA VÝSLEDKOV

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

Navrhli sme nový typ tranzistora na báze InN kanála. Elektróny v kanáli dosahujú najvyššiu saturačnú rýchlosť elektrónov zo všetkých známych polovodičových materiálov v prírode.

Analyzovali sme nový typ n++GaN/InAlN/AlN/GaN HEMT tranzistora so samozárkytovou technológiou prípravy Schottkyho (SB) zapustenej hradlovej elektródy. Týmto spôsobom sme minimalizovali vzdialenosť n++GaN kontaktov vrstvy od intrinzičného kanála, čo minimalizuje parazitný odpor prístupových oblastí emitora a kolektora. Navyše, na rozdiel od všeobecne zaužívaného planárneho tranzistora, v našom prípade nedochádza k predĺženiu priestorového náboja hradla pri narastajúcom napätí na kolektore, čo je kľúčovým hľadiskom pre dosahovanie veľmi vysokých medzných frekvencií. Ďalším vývojom samozákrývovej technológie sme prešli od techniky SB HEMT ku konceptu MOS HEMT. Tento prístup nám umožnil prípravu normálne zatvoreného tranzistora s nastaviteľným prahovým napätím VT až do hodnoty 3,7 V bez kompromisu v hodnote maximálneho kolektorového prúdu dosahujúceho 0.4 A/mm pre emitor-kolektor vzdialenosť 8 mikrometrov. Alternatívne sme pripravili normálne zatvorené InAlN/AlN/GaN HEMT tranzistory s selektívne leptanými prístupovými oblasťami určené pre výkonové aplikácie vykazujúce elektrickú pevnosť preruzy hradlo-kolektor 100 V/mikrometer.

Navrhli sme analytický model nastavenia a výpočtu VT tranzistorov HEMT, postupu separácie nábojov v MOS štruktúrach a mechanizmov degradácie tranzistorov HEMT v režime horúcich elektrónov. Na základe DC a mikrovlnných meraní S-parametrov tranzistorov bol identifikovaný ich veľkosignálový model.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

We have proposed novel InN-channel based transistors. Electrons in InN channel can reach the highest saturated velocity from all common semiconductors known in nature.

We have analyzed novel n++GaN/InAlN/AlN/GaN HEMTs with a self-aligned Schottky barrier (SB) recessed gate. This design provides minimal distance between the n++GaN contact layer and the intrinsic channel so that to minimize parasitic source and the drain contact resistances. Moreover, in contrast to a common planar design, in our case a prolongation of the gate space charge at increased drain bias is eliminated providing maximal cut-off frequencies possible. Next step in developing self-aligned technology was to replace SB with MOS contacts. This approach lead to normally-off HEMTs with an adjustable threshold

voltage V_T up-to 3.7 V without a compromise in a maximal drain current. Drain current reaches 0.4 A/mm in HEMTs with a source-to-drain distance 8 microns. Alternatively, we have prepared normally-off InAlN/AlN/GaN HEMTs with selectively etched access regions particularly designed for power applications. HEMTs showed electrical strength 100 V/microns of the breakdown between the gate and the drain.

We have proposed an analytical model of V_T calculation, of the experimental method of charge extraction in MOS structures and of mechanisms of HEMT degradation in a regime of hot electrons. Based on DC and microwave scattering parameters measurement the large-signal transistor model was identified.

Svojím podpisom potvrdzujem, že údaje uvedené v záverečnej karte sú pravdivé a úplné a súhlasím s ich zverejnením.

Zodpovedný riešiteľ

Ing. J. Kuzmík, DrSc

V Bratislave 20.11. 2014

Štatutárny zástupca príjemcu

RNDr. Vladimír Cambel, DrSc

V Bratislave 20.11. 2014

.....
podpis zodpovedného riešiteľa

.....
podpis štatutárneho zástupcu príjemcu