

## Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-14-0749****Moderné metódy návrhu a diagnostiky energeticky efektívnych výkonových prvkov**Zodpovedný riešiteľ **Ing. Martin Donoval, PhD.**Príjemca **NanoDesign, s.r.o.**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

NanoDesign, s.r.o., Fakultka elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave

### Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Počas projektu bola realizovaná spolupráca s viacerými zahraničnými partnermi (Infineon, ST Microelectronics a pod.)

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

Patenty:

1. „Spôsob prípravy stabilnej vrstvy kalcia“, číslo patentu: 288433, číslo prihlášky: 108-2013, dátum sprístupnenia patentu verejnosti: 10.11.2016, pôvodca: Ing. Martin Donoval PhD, Doc. Ing. Martin Weis PhD., Ing. Martin Daříček PhD., prof. Ing. Daniel Donoval DrSc. a kol., prihlasovateľ: FEI STU v Bratislave, NanoDesign, s.r.o., Powertec s.r.o.

Úžitkové vzory:

1. “Miniatúrne kontaktné smart meracie zariadenie s bezdrôtovým prenosom dát neinvazívneho merania fyziologických parametrov sledovaného subjektu a merací systém“, pôvodcovia: M. Donoval, M. Daříček, M. Jagelka, F. Horínek, M. Mičjan, A. Kuzma, M. Weis, Prihlasovateľ: NanoDesign, s.r.o., Powertec s.r.o., číslo prihlášky: 230-2017

2. „Smart parkovací bezdrôtový senzor a spôsob jeho inštalácie do parkovacieho miesta“, pôvodcovia: M. Donoval, M. Jagelka, F. Horínek, M. Mičjan, A. Kuzma, M. Daříček, Prihlasovateľ: NanoDesign s.r.o., Powertec, s.r.o., číslo prihlášky: 271-2017.

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

kapitola v knihe - Yurish, Sergey, Advances in Microelectronics: Reviews, Vol. 2, Book Series; International Frequency Sensor Association (IFSA) Publishing, in print (Dec.2018)  
CHVÁLA, Aleš - MAREK, Juraj - PRÍBYTNÝ, Patrik - ŠATKA, Alexander - STOFFELS, Steve - POSTHUMA, Niels - DECOUTERE, Stefaan - DONOVAL, Daniel. Analysis of multifinger power HEMTs supported by effective 3-D device electrothermal simulation. In Microelectronics Reliability. Vol. 78, (2017), s. 148-155. ISSN 0026-2714. V databáze: CC: 000414880200019 ; SCOPUS: 2-s2.0-85032210678.

CHVÁLA, Aleš - MAREK, Juraj - PRÍBYTNÝ, Patrik - ŠATKA, Alexander - DONOVAL, Martin - DONOVAL, Daniel. Effective 3-D device electrothermal simulation analysis of influence of metallization geometry on multifinger power HEMTs properties. In IEEE Transactions on Electron Devices. Vol. 64, No. 1 (2017), s. 333-336. ISSN 0018-9383. V

databáze: CC: 000392092500052 ; SCOPUS: 2-s2.0-85000916429.

CHVÁLA, Aleš - MAREK, Juraj - PRÍBYTNÝ, Patrik - ŠATKA, Alexander - DONOVAL, Daniel - STOFFELS, Steve - POSTHUMA, Niels - DECOUTERE, Stefaan. Electrothermal analysis of power multifinger HEMTs supported by advanced 3-D device simulation. In SISPAD 2017 : International conference on simulation of semiconductor processes and devices. Kamakura, Japan. September 7-9, 2017. Piscataway : IEEE, 2017, S. 253-256. ISBN 978-4-86348-612-6.

MAREK, Juraj - STUHLÍKOVÁ, Ľubica - JAGELKA, Martin - CHVÁLA, Aleš - PRÍBYTNÝ, Patrik - DONOVAL, Martin - DONOVAL, Daniel. Impact of repetitive UIS on modern GaN power devices. In ASDAM 2016 : 11th International conference on advanced semiconductor devices and microsystems. Smolenice, Slovakia. November 13-16, 2016. Danvers : IEEE, 2016, S. 173-176. ISBN 978-1-5090-3081-1. V databáze: IEEE ; WOS: 000392530900043 ; SCOPUS: 2-s2.0-85011015586.

PRÍBYTNÝ, Patrik - CHVÁLA, Aleš - MAREK, Juraj - DONOVAL, Daniel. TCAD simulation methodology for full 3-D electro-physical and advanced thermal analysis of power modules. In SISPAD 2017 : International conference on simulation of semiconductor processes and devices. Kamakura, Japan. September 7-9, 2017. Piscataway : IEEE, 2017, S.249-252. ISBN 978-4-86348-612-6. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85039034958 ; WOS: 000426983300062.

CHVÁLA, Aleš - MAREK, Juraj - ŠATKA, Alexander - PRIESOL, Juraj - PRÍBYTNÝ, Patrik - STOFFELS, Steve - POSTHUMA, Niels - DECOUTERE, Stefaan - DONOVAL, Daniel. 3-D Device Electrothermal Simulation for Analysis of Multifinger Power HEMTs. In GaN Marathon 2.0 : Padova, Italy. April 18-19, 2018. Padova : Coop. Libreria Editrice Università di Padova, 2018, S. 44-45. ISBN 978-88-6787-916-8.

### **Uplatnenie výsledkov projektu**

Výsledky projektu, nadobudnuté počas riešenia parciálnych úloh tohto projektu budú uplatnené na viacerých úrovniach ako aj v ďalšom vlastnom výskumnom a vývojovom procese riešiteľa. V rámci projektu preto bolo navrhnuté a realizované špeciálne testovacie zariadenie pre skúmanie energetickej odolnosti výkonových prvkov. Testovacie zariadenie bolo optimalizované na testovanie moderných výkonových prvkov na báze GaN. Testovacie zariadenie svojimi parametrami a možnosťou rozšírenia svojej funkcionality o ďalšie testy - Hard switching stress, Short Circuit stress... predstavuje unikátne zariadenie, ktoré môže byť v krátkej dobe ponúkané výrobcom polovodičových prvkov ako aj ich výskumným a vývojovým centrom. Významným uplatnením výsledkov projektu sú okrem spomínaného testera získané vedecké poznatky o moderných výkonových prvkoch, ich SOA, javoch ovplyvňujúcich ich životnosť. Na základe vytvorených partnerstiev budú tieto poznatky priamo implementované do vývoja nových generácií moderných výkonových prvkov. Taktiež boli tieto poznatky zakomponované do počítačových modelov, ktoré napomáhajú pri dizajne obvodov s modernými výkonovými prvkami na báze GaN.

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

Cieľom projektu bolo využiť poznatky získané z medzinárodných a domácich projektov základného výskumu pri rozvoji metód testovania nových výkonových elektronických prvkov a vytvoriť moderné, unikátne testovacie laboratórium pre analýzu energetickej odolnosti a skúmanie kritických miest výkonových polovodičových prvkov. V prvých etapách projektu bolo navrhnuté a postavené unikátne testovacie zariadenie - UIS tester, ktoré bolo postupne dopĺňané o ďalšie funkcionality. Testovacie zariadenie bolo navrhnuté na testovanie výkonových GaN HEMT prvkov. Správanie sa GaN HEMT prvkoch v podmienkach týchto testov nie je v súčasnosti dostatočne popísané v literatúre. V ďalších etapách projektu bolo zariadenie využité na uskutočnenie krátkodobých a dlhodobých stresových meraní moderných výkonových prvkov. Bolo preukázané, že GaN HEMT prvky s hardlovými elektródami s P-GaN vrstvou majú intrinzičnú UIS schopnosť a dokážu spínať vysoké prúdy cez indukčné záťaž, napríklad pri riadení motorov. Následne boli vykonané dlhodobé stresové merania pri ktorých sa skúmala degradácia prvkov vplyvom multipulzného UIS alebo CIS testu. Na prvej generácii výkonových GaN HEMT prvkoch bola pozorovaná značná degradácia el. parametrov. Aj na základe našich meraní boli upravené výkonové prvky a bola pripravená druhá generácia prvkov, ktorá síce mala vyššie zvodové prúdy ale

bola výrazne odolnejšia voči degradácií. Pri analýze prvkov boli vo významnej mire použité metódy numerického modelovania a simulácie. Boli pripravené trojrozmerné modely prvkov a pomocou elektrotepelných simulácií bolo simulované správanie prvkov pri spínaní. Bola navrhnutá metóda, ktorá výrazne urýchlila simulácie a umožnila aj simulácie veľmi zložitých systémov so zahrnutím dosky plošných spojov - PCB a chladiča prvku. Taktiež pomocou simulácií bola optimalizovaná topológia metalizácie výkonových prvkov.

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

The main project objective was to apply the knowledge obtained from international and domestic research projects in application research advanced power electronic components prepared by proposed innovative technological procedures and create modern, unique testing laboratory for the analysis of energy robustness and critical areas of power semiconductor devices. In the first stages of the project, a unique test equipment was designed and built - UIS teter, which has been gradually upgraded by other features. The test device was designed to test GaN HEMT power devices. The behavior of GaN HEMT devices in the conditions of these tests is currently not sufficiently described in the literature. In the later stages of the project, the tester was used to perform short and long-term stress measurements of modern power devices. It has been demonstrated that GaN HEMT devices with P-GaN gate electrodes exhibit intrinsic UIS capability and can switch high currents through inductive loads, for example, in driving the motors. Subsequently, long-term stress measurements were performed to examine the degradation of the devices by multipulse UIS or CIS tests. In the first generation of GaN HEMT power devices, significant degradation of el. parameters was observed. Also on the basis of our measurements, the power elements were modified and a second generation of elements was prepared, which had higher leakage currents, however was significantly more resistant to degradation. The methods of numerical simulation and modeling were used in the analysis of the elements. Three-dimensional element models have been prepared and used to simulat behavior of the switching elements by means of electro-thermal simulations. A new method for fast electrothermal simulations has been proposed that has greatly accelerated the simulation and allowed simulation of very complex systems including the PCB and the element cooler. Simulations were used for optimization of the metallisation topology of power elements.

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

**Zodpovedný riešiteľ**  
Ing. Martin Donoval, PhD.

**Štatutárny zástupca príjemcu**  
Ing. Martin Daříček

V ..... dňa .....

V ..... dňa .....

.....  
Podpis zodpovedného riešiteľa

.....  
Podpis štatutárneho zástupcu príjemcu