

## Formulár ZK - Záverečná karta projektu

Riešiteľ: Doc. Ing. Viera Skákalová DrSc.	Evidenčné číslo projektu: APVV-0628-06
Názov projektu: Príprava uhlíkových nanorúrok a výskum elektronických súčiastok založených na sieťach z uhlíkových nanorúrok.	

Na ktorých pracoviskách bol projekt riešený:	Danubia NanoTech s.r.o, Bratislava
	Katedra mikroelektroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky STU Bratislava
Ktoré zahraničné pracoviská spolupracovali pri riešení (názov, štát):	Max-Planck Institut fuer Festkoerperforschung, Stuttgart
	Universitaet Ulm, Ulm

Udelené patenty alebo podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory vychádzajúce z výsledkov projektu:	
Publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu (uved'te i publikácie prijaté do tlače):  <i>Uvádzajte maximálne päť najvýznamnejších publikácií.</i>	Martin Hulman, Miroslav Haluška, Giusy Scalia, Dirk Obergfell, and Siegmarr Roth, Effects of Charge Impurities and Laser Energy on Raman Spectra of Graphene, Nano Letters 8, (2008) 3594-3597
	Martin Hulman, Viera Skákalová, A. V. Krasheninnikov, and S. Roth, Effects of ion beam heating on Raman spectra of single-walled carbon nanotubes, APPLIED PHYSICS LETTERS 94, (2009) 071907
	Viera Skákalová, Alan B. Kaiser, Jai Seung Yoo, Dirk Obergfell and Siegmarr Roth, Correlation between resistance fluctuations and temperature dependence of conductivity in graphene, PHYSICAL REVIEW B 80, (2009) 153404
	Jai Seung Yoo, Yung Woo Park, Viera Skákalová, and Siegmarr Roth, Shubnikov-de Haas and Aharonov Bohm effects in a graphene nanoring structure, APPLIED PHYSICS LETTERS 96, (2010) 143112
	Hye Jin Park, Jannik Meyer, Siegmarr Roth, Viera Skákalová, Growth and properties of few-layer graphene prepared by chemical vapor deposition, CARBON 48 (2010) 1088 –1094
V čom vidíte uplatnenie výsledkov projektu:	V rámci projektu bola plne zvládnutá výroba uhlíkových nanorúrok a ich čistenie a do značnej miery zvládnutá aj príprava grafénových vrstiev. To umožní ďalší výskum týchto materiálov vlastnými prostriedkami a v spolupráci s domácimi a zahraničnými pracoviskami.

## Charakteristika výsledkov

### Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu (max. 20 riadkov) - slovensky:

Počas riešenia projektu sme rozvinuli metódy prípravy nových materiálov na baze uhlíka – uhlíkové nanorúrky a grafén. Ich vlastnosti sme využili na vývoj niekoľkých možných aplikácií týchto materiálov v elektronike ako napr. tranzistory na báze sietí z uhlíkových nanorúrok. Dosiadnutý faktor zosilnenia u týchto prvkov bol 10000. V štádiu rozpracovania sú poľom riadené tranzistory na báze veľmi tenkých (stovky nanometrov) pásikov grafénu.

V rámci projektu boli vyvíjané tenké transparentné vrstvy pre slnečné články a inú transparentnú elektroniku. Transparentné vodivé elektródy z uhlíkových nanorúrok dosahujú parametre 500 Ohmov plošného odporu pri priepustnosti 85 %. Ďalšia optimalizácia bude pokračovať v spolupráci s americkou firmou Eikos. Transparentné vodivé elektródy z grafénu dosahujú parametre 1000 Ohmov plošného odporu pri priepustnosti 85 %.

Ďalším okruhom výskumu bol vplyv účinkov iónového žiarenia na uhlíkové nanorúrky. Bolo zistené, že pre istý rozsah energií iónového žiarenia papiere z uhlíkových nanorúrok pôsobia ako veľmi účinné absorbéry tohoto žiarenia pričom je možné regenerovať kryštalovú štruktúru nanorúrok vákuovým žíhaním. Charakteristické energie pre proces žíhania defektov sú pritom nižšie ako pre materiály s trojrozmernou štruktúrou. Teploty nutné pre žíhanie sú preto podstatne nižšie. Aplikácie pre kozmické zariadenia budú rozvíjané ďalej na základe kontraktov so zahraničnými partnermi.

Jednou z možností využitia grafénu sú membrány pre mriežky do transmisných elektrónových mikroskopov so špeciálnym dôrazom na biologické objekty. Tieto membrány majú hraničnú hrúbku – sú to monoatomárne vrstvy s najvyššou možnou priepustnosťou pre elektrónový lúč. Na vývoji takýchto membrán spolupracujeme s Univerzitou v Ulme. Takéto membrány sú zároveň nepriepustné pre všetky molekuly plynov vrátane molekúl vodíka. Nepriepustne membrány pre vodíkové molekuly budú testovane v spolupráci s holandskou firmou ASML Netherlands B.V.

### Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu (max. 20 riadkov) - anglicky:

In frame of the project we developed methods for preparation of new carbon based materials – carbon nanotubes and graphene. Their properties have been used for applications of these materials in electronics as field effect transistors based on the carbon nanotube networks. The value of on-off factor was 10000. The field effect transistors based on graphene nanoribbons are in the stage of developments as well.

One of the project achievements are transparent conductive layers from carbon nanotubes for solar cells and for other transparent electronics. Transparent conductive electrodes from carbon nanotubes reach a value of the sheet resistance 1000 Ohms at transparency 85%.

The other part of our project was a study of effect of ion irradiation on carbon nanotubes. It was found that, in some range of ion energies, the papers made of carbon nanotubes are very effective as absorbers of the ion irradiation while it is possible to regenerate the crystal structure of single wall carbon nanotubes by annealing in vacuum. The characteristic energies for the annealing process are lower than for the three-dimensional materials. The temperatures for annealing are therefore much lower. Based on this result we are developing new applications for use in space in collaboration with our partners abroad.

One of the possibilities for use of graphene is membranes for grids at transmission electron microscopy with a special accent on biological objects. These membranes are of a limit thickness – of one-atom thick layer which is the most transparent layer for electron beam. Membranes based on graphene for TEM microscope grids were developed in frame of the project partially in collaboration with University in Ulm. These membranes are at the same time impermeable for any gas molecules including hydrogen. This application of graphene is in a process of development collaborating with a company ASML Netherlands B.V.

**Podpisom záverečnej karty riešiteľ vyjadruje svoj súhlas so zverejnením údajov v nej uvedených.**

Podpis zodp. riešiteľa: .....

Dátum: .....

Podpis štatutárneho zástupcu: .....

Pečiatka: