

## Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **-0888-11**

**Výskum nových pasivačných procesov štruktúr na báze kremíka**

Zodpovedný riešiteľ **RNDr.Emil Pinčík, CSc**

Príjemca **Fyzikálny ústav SAV**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

1. Fyzikálny ústav SAV
2. Elektrotechnická fakulta ŽU, L. Mikuláš
- 3.
- 4.
- 5.

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

1. Institute of Scientific and Industrial Research of Osaka University, Japonsko
2. Helmholtz-Zentrum Berlin fur Materialien und Energie, Nemecko
3. Nové technológie – výskumné centrum, Západočeská univerzita Plzeň

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

1. „Zariadenie na formovanie homogénnych ultratenkých a veľmi tenkých stechiometrických oxidov na GaAs, c-Si, poly\_Si a na AL a a-Si:H tenkých vrstvách nanosených na nevodivej podložke“.

Pôvodca: E. Pinčík, R.Brunner

Prihlasovateľ: E. Pinčík, R.Brunner

Číslo patentovej prihlášky: PP 5028-2015

2. „Určovanie zmien optických hrúbok tenkých pasivovaných polovodičových vrstiev po pasivačných procedúrach“.

Pôvodca: R. Brunner, E. Pinčík

Prihlasovateľ: R. Brunner, E. Pinčík

Číslo patentovej prihlášky: PP 5045-2014

3. „Zariadenie na meranie hĺbkového profilu fotoluminiscenčného signálu v planárnych polovodičových štruktúrach“.

Pôvodca: R. Brunner

Prihlasovateľ: R. Brunner

Číslo patentovej prihlášky: PP 95-2014

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

1. E. Pinčík, H. Kobayashi, T. Matsumoto, M. Takahashi, M. Mikula, R. Brunner: Properties of HfO<sub>2</sub>/ultrathin SiO<sub>2</sub>/Si structures and their comparison with Si MOS structures passivated in KCN solution, Applied Surface Science 301 (2014) 34–39.
2. S. Jurečka, H. Angermann, H. Kobayashi, M. Takahashi, E. Pinčík: Multifractal analysis of textured silicon surfaces, Applied Surface Science 301 (2014) 46–50.
3. E. Pincik, R. Brunner, H. Kobayashi, M. Takahashi, M. Mikula: Interaction of KCN solutions with Si-based thin films, Journal of the Chinese Advanced Materials Society, DOI: 10.1080/22243682.2015.1011693.
4. S. Jurečka, K. Imamura, T. Matsumoto, H. Kobayashi: Study of microstructure and optical properties of nanostructured Si surfaces, In: Proc. of the International Conference on Advances in Electronic and Photonic Technologies, Štrbské pleso, Vysoké Tatry, Slovakia, June 1-4, 2015, s. 116-119. Eds: D. Pudiš, I. Lettrichová, J. Kováč jr., University of Žilina, Žilina, Slovakia, ISBN 978-80-554-1033-3.
5. E. Pincik, H. Kobayashi, K. Imamura, R. Brunner: Actual state of the development of solar cells with the black silicon over-layer. In: 36. Nekonvenční zdroje elektrické energie, máj 2015, Vyškov, Česká republika, s. 111-113, Eds: doc. Ing. Petr Bača, Ph.D., Ing. Ladislav Chladil, Ph.D., ISBN: 978-80-02-02593-1.

### **Uplatnenie výsledkov projektu**

Väčšina výsledkov je okamžite využiteľná pri výrobe solárnych článkov viacerých druhov.

### **CHARAKTERISTIKA VÝSLEDKOV**

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

Projekt skúmal pasiváciu defektných stavov v štruktúrach na báze Si: chemickou oxidáciou v HNO<sub>3</sub> (NAOS), pasiváciou vodíkom, termickou oxidáciou, kyanidizáciou v KCN a HCN roztokoch. Výsledky boli aplikované na viacerých druhoch solárnych článkov rozmeru 4 cm<sup>2</sup>. Bolo preukázané, že konverzná účinnosť amorfných a-Si:H solárnych článkov a pn poly-Si bolo možné zlepšiť o 28% z ich pôvodnej hodnoty pomocou kyanidizačných roztokov. Solárne články pn c-Si bolo možné zlepšiť pasiváciou ultratenkou SiO<sub>2</sub> NAOS vrstvou o 8-10% v závislosti na type vodivosti základného Si substrátu. Konverznú účinnosť solárnych článkov s čiernym Si bolo možné zlepšiť až o 40-45%, pričom bola použitá kombinácia pasivácie NAOS vrstvou s termickou oxidáciou. O vhodnosti druhu pasivačnej procedúry rozhoduje celkový počet prístupných pasivovaných defektov. Výsledky sú okamžite aplikovateľné v praxi. Súčasťou projektu bol aj výskum štruktúr HfO<sub>2</sub>/ultratenký SiO<sub>2</sub>/Si s cieľom nájsť spôsob ako zabrániť difúzii Hf atómov cez ultratenkú dielektrickú medzivrstvu do Si. Ako optimálna bola nájdená kombinácia ALD HfO<sub>2</sub> s NAOS SiO<sub>2</sub> formovaným z roztoku 98% HNO<sub>3</sub>. Boli analyzované možnosti využitia takejto štruktúry pri výrobe MOS FETov, TFT a v LSI. Do prác boli každoročne zapojení viacerí diplomanti a bakalári EF Žilinskej univerzity. Bolo zorganizovaných 5 medzinárodných konferencií a mnoho ďalších každoročných popularizačných odborných aktivít v regióne Liptova (Slovensko) vrátane Detskej Univerzity v Žiline.

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

Passivation of defect states of Si-based structures was investigated in this project: chemical oxidation in HNO<sub>3</sub> (NAOS), passivation by hydrogen, thermal oxidation, cyanidization in KCN and HCN solutions. The results were applied to several types of solar cell of size 4 cm<sup>2</sup>. It

was shown that conversion efficiency (CE) of amorphous solar cells (a-Si:H) and pn poly-Si were improved by 28% of their original value using cyanidization solutions. It was possible to improve the CE of the pn c-Si solar cells by 8-10%, in dependence of the type of the conductivity of the Si substrate, using ultrathin SiO<sub>2</sub> NAOS passivation layer. It was possible to improve the CE of black silicon solar cells by 40-45%, whereby the combination of NAOS passivation and thermal oxidation was applied. The total number of susceptible passivated defects is the criterion of the selection of the proper passivation procedure. The results are directly applicable in the practice. Additional part of the project was the investigation of HfO<sub>2</sub>/ultrathin SiO<sub>2</sub>/Si structures for the purpose of prevention of Hf atoms diffusion through dielectric interlayer to the Si. The combination of ALD HfO<sub>2</sub> with NAOS SiO<sub>2</sub> formed in 98% solution of HNO<sub>3</sub> was found as the optimal solution. Possibilities of utilization of such structures in MOS FET, TFT and LSI productions were analyzed. More masters and bachelors of the Faculty of Electrical Engineering of Žilina University were engaged yearly into the works. Five international conferences were organized along with additional annual popularization activities in Liptov region (Slovakia), inclusive the Žilina Children's University.

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

**Zodpovedný riešiteľ**

RNDr. Emil Pinčík, CSc.

V Bratislave 23.07.2015

**Štatutárny zástupca príjemcu**

RNDr. Stanislav Hlaváč, CSc.

V Bratislave 23.07.2015

.....  
podpis zodpovedného riešiteľa

.....  
podpis štatutárneho zástupcu príjemcu