

**НИЛ 4.3 «Материалы и структуры наноэлектроники»**  
(Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»)

**Научный руководитель**  
БОНДАРЕНКО Виталий Парфирович  
Кандидат технических наук, доцент



**Заместитель заведующего лабораторией:**  
Чубенко Евгений Борисович, к.т.н.

**Сотрудники:**

Редько Сергей Владимирович, науч. сотрудник  
Абрамов Константин Игоревич, мл. науч. сотрудник  
Шапель Александр Петрович, мл. науч. сотрудник

**Направления исследований**

Формирование и исследование пористого кремния и наноструктурированных композитных материалов и гетероструктур на его основе для создания приборов и устройств микро- и наноэлектроники, интегральной оптоэлектроники, микромеханики и сенсорных устройств; разработка элементной базы КМОП БИС на основе КНИ структур; разработка миниатюрных двигателей для наноспутников.

**ТЕХНОЛОГИИ**

- Получение пористого кремния методом электрохимического анодирования
- Получение кремниевых нанонитей методом металл-стимулированного химического травления
- Химическое и электрохимическое осаждение металлов, сплавов и полупроводниковых соединений
- Химическое травление кремния (изотропное и анизотропное)
- Высокотемпературный отжиг
- Термокомпрессионное соединение кремниевых пластин

**РАЗРАБОТКИ**

- ГКР-активные подложки на основе наноструктурированных пленок

серебра на пористом кремнии для анализа состава физиологических растворов методом спектроскопии комбинационного рассеяния света с минимальной концентрацией детектируемого вещества  $10^{-8}$  М

- Свободные пленки наноструктурированной пористой меди для изготовления гибких электродов для трансдермальной терапии путем электропорации
- Технология формирования слабо и сильно связанных с кремниевой подложкой пленок меди и никеля для изготовления устройств микро- и наносистемной техники
- Наноструктурированные пленки и нанокристаллы оксида цинка для фотоприемников и солнечных элементов.
- Нанокompозитные материалы на основе ферромагнитных металлов, осажденных в пористый кремний для устройств магнитной памяти
- Буферные слои пористого кремния для гетероэпитаксиального роста пленок полупроводниковых соединений на кремниевых пластинах
- Конструкции и технология изготовления элементной базы радиационно-стойких КМОП БИС СОЗУ на основе КНИ структур
- Конструкции и технология изготовления элементной базы высокотемпературных КМОП БИС СОЗУ на основе КНИ структур
- Конструкции и технология изготовления элементной базы магниточувствительных КМОП БИС на основе КНИ структур
- Миниатюрные реактивные двигатели для наноспутников

## **ДОСТИЖЕНИЯ**

Сотрудниками лаборатории участвовали в выполнении следующих международных проектов:

SOROS Award (1993-1994)

NATO Linkage Research Grant HTECH.LG № 951231 (1995-1996)

NANO Collaborative Research Grant HTECH.CRG № 950955 (1995-1997)

Royal Society Joint Project (1996-1998)

CRDF Award № BE1-108 (1997-1999)

ESPRIT OLSI Project № 28.934 (2001-2003)

BELERA (2012-2013)

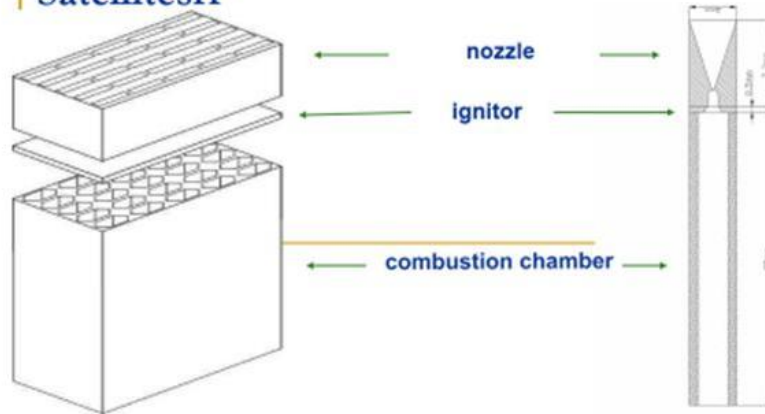
**Сотрудники лаборатории имеют 52 авторских свидетельства на изобретения, 3 международных патента и 4 свидетельства на патенты Республики Беларусь.**

## **СОТРУДНИЧЕСТВО**

Университеты и научно-исследовательские организации Республики Беларусь, Российской Федерации, Украины, Великобритании, Бельгии, Италии, США, Литовской Республики, Греции, Испании.

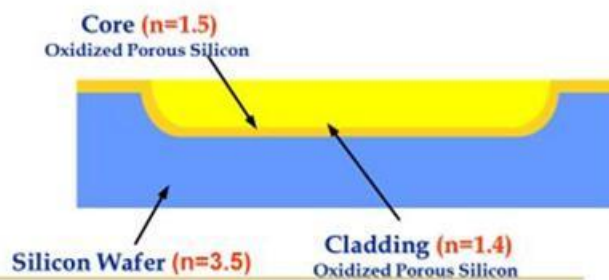
## Applied Research: (prototype) Matrix Microthrusters for Small

### Satellites

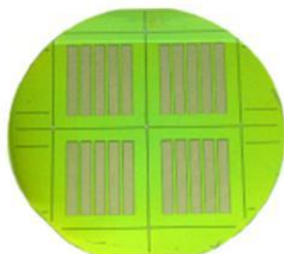


**Integrated MEMS technology !!!**

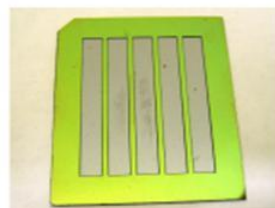
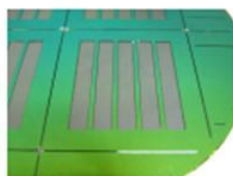
## Optical Waveguides based on Oxidized Porous Silicon



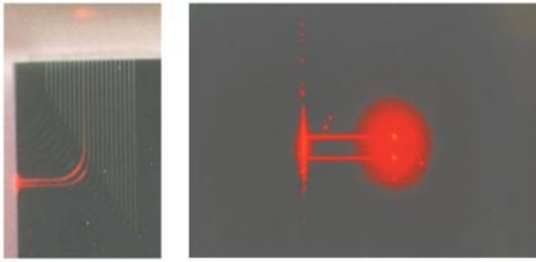
### Combustion Chamber fabrication



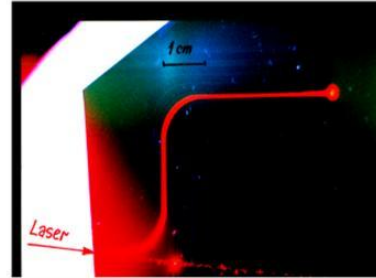
1. Silicon Nitride deposition
2. Lithography
3. RIE
4. **Deep Si Etching (500-600 microns)**
5. Cutting
6. Thermo Bonding



## Light propagation through bending OPS waveguides

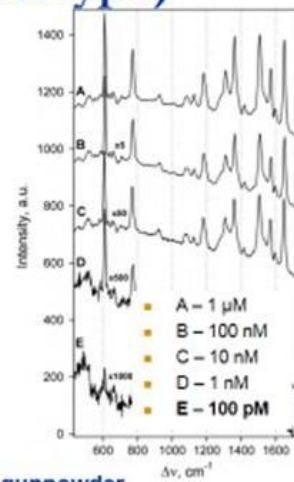
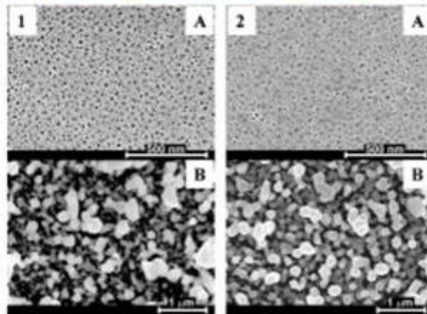


## Light propagation through OPS waveguide



## SERS BioSensors (prototype)

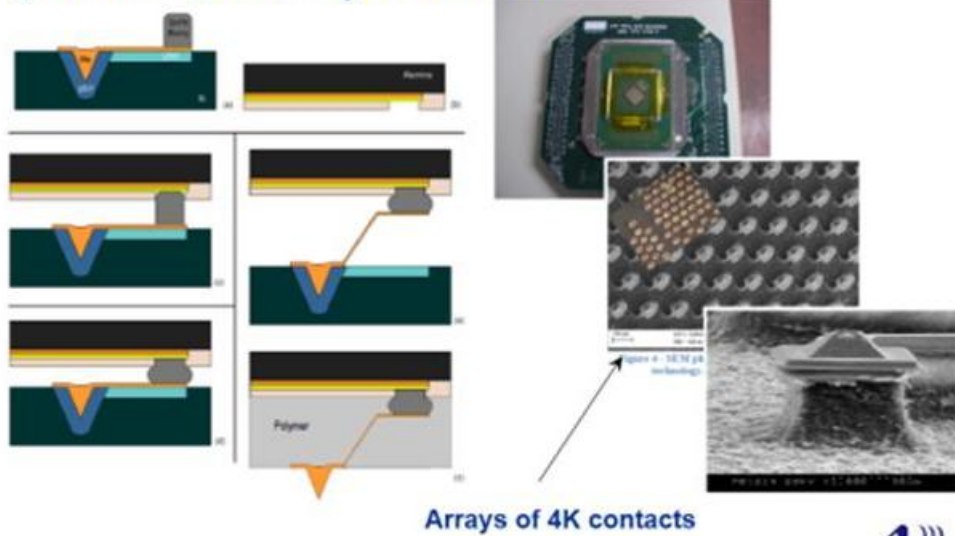
Surface-enhanced Raman scattering  
Ag particles on mesoporous silicon



Extreme sensitivity to Rhodamine 6G and gunpowder

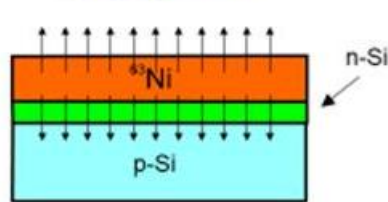


## Compliant probes technology based on porous silicon layer transfer



## Beta

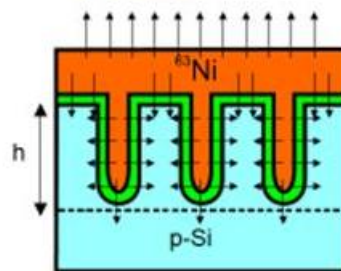
Planar junction



Effective contact surface –  $S_0$   
Effective flux – 50 %

Surface of mesoporous silicon reaches  
600... 800  $m^3/cm^3$ !!!

3D junction



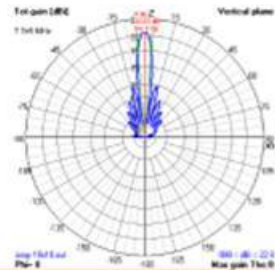
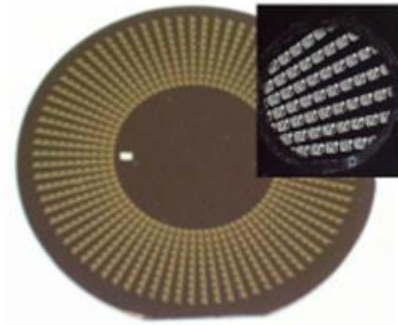
Macroporous silicon  
If  $h = 5\mu m$ ,  $S \geq 4xS_0$   
If  $h = 200\mu m$   $S > 500xS_0$   
Effective flux  $\rightarrow$  90%



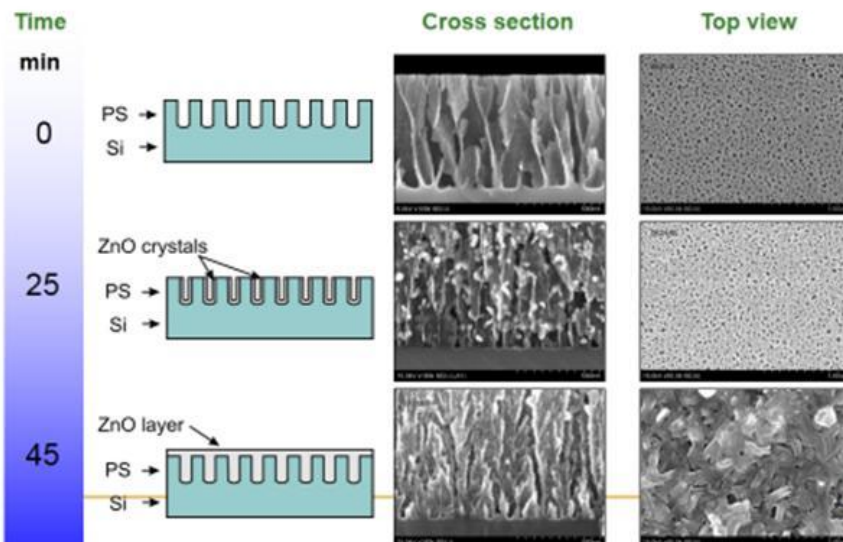
## Basic Research: GHz and Low THz antenna arrays

**Technology:** Partially releasable structures  
**Results:** Simulated the parameters of a 10x10 phased array (32x32 under way).

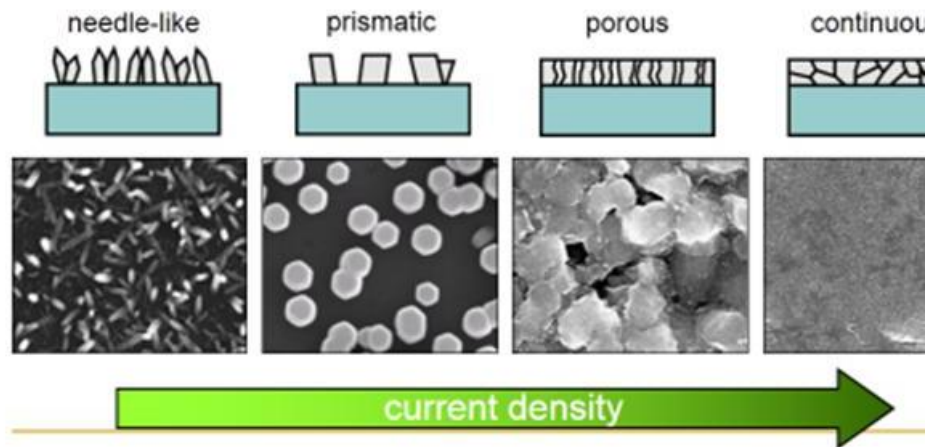
**Metallization:** Cu = 3 -20  $\mu\text{m}$ , Ni = 0.5 -1  $\mu\text{m}$



## ZnO electrodeposition in meso PS



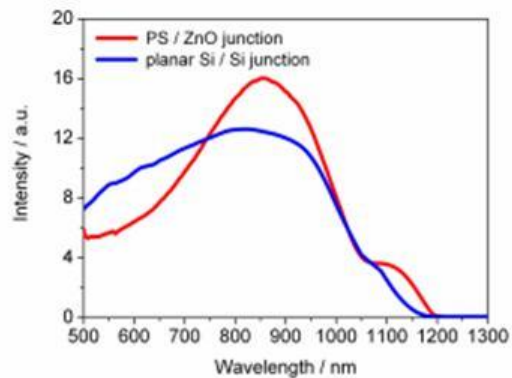
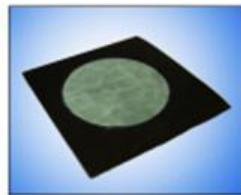
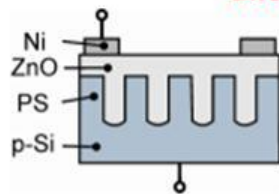
Depending on process parameters:  
*current density, temperature, time, concentration,*  
 different ZnO morphology types can be obtained



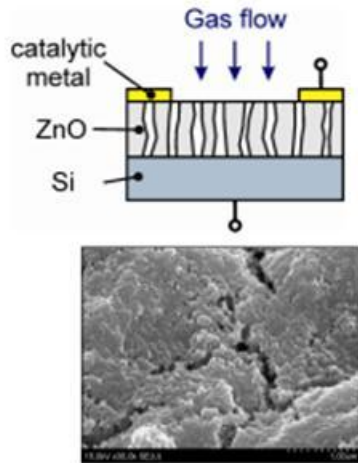
E.B. Chubenko, V.P. Bondarenko, M. Balucani, Tech. Phys. Lett. 35 (2009) 1160, J. Cambre, D. Busquets-Mataix, Thin Solid Films 517 (2009) 2859.

## Photodetectors: ZnO/PS heterojunction

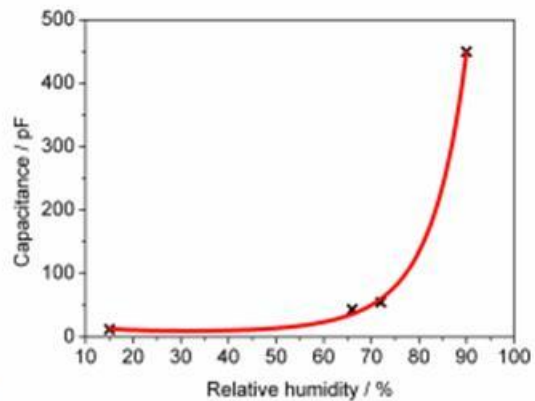
**ZnO is transparent conductive material**



## Gas sensors (water vapor, methane....)

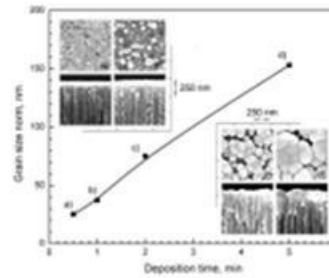
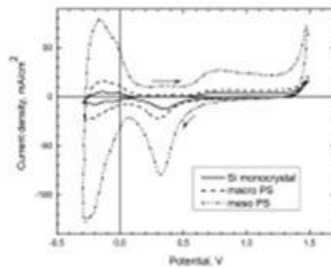


Porous ZnO film surface



## Platinum catalyst for fuel cells (basic research)

Electrochemical deposition of Pt  
on porous silicon substrates



Increase of surface activity  
of deposited coatings



### Наиболее значимые публикации

### Монографии

1. Bondarenko V.P. and Yakovtseva V.A. Microelectronics applications of porous silicon. In: *Properties of Porous Silicon. Ed. L. Canham. EMIS Datareviews Series,*



1997. № 18, 343-348.

2. Bondarenko V.P. and Yakovtseva V.A. Optoelectronics using porous silicon. In: Properties of *Porous Silicon*. Ed. L. Canham. *EMIS Datareviews Series*, 1997. № 18, 356-363.
3. E. Chubenko, S. Redko, A. Dolgiy, H. Bandarenka, V. Bondarenko. Porous silicon as substrate for epitaxial films growth. *Porous Silicon: From Formation to Applications*. Vol. 3. Optoelectronics, Microelectronics, and Energy Technology Applications. Ed. G. Korotchenkov. CRC Press, Taylor and Francis Group, 2016. P. 141–162.
4. E. Chubenko, S. Redko, A. Dolgiy, H. Bandarenka, S. Prischepa, V. Bondarenko. Porous silicon as host and template material for fabricating composites and hybrid materials. *Porous Silicon: From Formation to Applications*. Vol. 3. Optoelectronics, Microelectronics, and Energy Technology Applications. Ed. G. Korotchenkov. CRC Press, Taylor and Francis Group, 2016 . P. 181–206.
5. S.L. Prischepa, A.L. Dolgiy, H.V. Bandarenka, V.P. Bondarenko, K.I. Yanushkevich, V.G. Bayev, A.A. Maximenko, Yu. A. Fedotova, A. Zarzycki, Y. Zabala. *Synthesis and Properties of Ni Nanowires in Porous Silicon Templates*. In: *Nanowires: Synthesis, Electrical Properties and Uses in Biological Systems*. Ed. Like J. Wilson. Nova Science Publishers. N.Y. Chapter 3. 89-128, 2014.

## Статъи

1. C. Cirillo, S. Prischepa, M. Trezza, V. Bondarenko, C. Attanasio. Superconducting nanowire quantum interference device based on Nb ultra thin films deposited on self-assembled porous Si templates. *Nanotechnology*, **25** (2014) 425205.
2. C. Cirillo, M. Trezza, F. Chiarella, A. Vecchione, V. P. Bondarenko. Quantum phase slips in superconducting Nb nanowire networks deposited on self-assembled Si templates. *Applied Physics Letters*. **101** (2012) 172601.
3. A. Dolgiy, S. Redko, I. Komissarov, V. Bondarenko, K. Yanushkevich, S. Prischepa. Structural and magnetic properties of Ni nanowires grown in mesoporous silicon templates. *Thin Solid Films*. **543** (2013) 133–137.
4. H. Bandarenka, S. Prischepa, R. Fittipaldi, A. Vecchione, P. Nenzi, M. Balucani, V. Bondarenko. Comparative study of initial stages of copper immersion deposition on bulk and porous silicon. *Nanoscale Research Letters*. **8** (2013) 85-92.
5. H. Bandarenka, K. Artsemyeva, S. Redko, A. Panarin, S. Terekhov, V. Bondarenko. Effect of swirl-like resistivity striations in n+-type Sb doped Si wafers on the properties of Ag/porous silicon SERS substrates. *Physica Status*

- Solidi C.* **10**, No 4, (2013) 549-553.
6. H. Bandarenka, S. Redko, A. Smirnov, A. Panarin, S. Terekhov, P. Nenzi, M. Balucani, V. Bondarenko. Nanostructures formed by displacement of porous silicon with copper: from nanoparticles to porous membranes. *Nanoscale Research Letters*. **7** (2012) 477–486.
  7. Bandarenka H., Redko S., Nenzi P., Balucani M., Bondarenko V. Optimization of Chemical Displacement Deposition of Copper on Porous Silicon. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, **12** (2012) 8274-8280.
  - A. Dolgiy, S. Redko, H. Bandarenka, S. Prischepa, K. Yanushkevich, P. Nenzi, M. Balucani, V. Bondarenko. Electrochemical Deposition and Characterization of Ni in Mesoporous Silicon. *Journal of the Electrochemical Society*, **159** (10) (2012) D623-D627.
  - A. Vasin, A. Rusavsky, A. Nazarov, V. Lysenko, P. Lytvyn, V. Strelchuk, K. Kholostov, V. Bondarenko, S. Starik. Identification of nanoscale structure and morphology reconstruction in oxidized a-SiC:H thin films. *Applied Surface Science*, **260** (2012) 2012-09-24.
  - A. Vasin, P. Okholin, I. Verovsky, A. Nazarov, V. Lysenko, K. Kholostov, V. Bondarenko, Y. Ishikawa. Study of the Processes of Carbonization and Oxidation of Porous Silicon by Raman and IR Spectroscopy. *Semiconductors*, **45** (2011) 350–354.
  8. E. Chubenko, A. Klyshko, V. Bondarenko, M. Balucani. Electrochemical deposition of zinc oxide on a thin nickel buffer layer on silicon substrates. *Electrochimica Acta*, **56** (2011) 4031–4036.
  - A. Panarin, S. Terekhov, K. Kholostov, V. Bondarenko. SERS-active substrates based on n-type porous silicon. *Applied Surface Science*, **256** (2010) 6969–6976.
  9. M. Balucani, P. Nenzi, E. Chubenko, A. Klyshko, V. Bondarenko. Electrochemical and hydrothermal deposition of ZnO on silicon: from continuous films to nanocrystals. *Journal of Nanoparticle Research*, **13** (2010) 5985 – 5997.

### **Контактная информация**

Рабочее место **руководителя:**

каб. 102 (1 корпус)

Контактный телефон руководителя:

++ 375 17 293 88 43

Факс:

+ 375 17 293 88 43

Email: [vitaly@bsuir.edu.by](mailto:vitaly@bsuir.edu.by)