

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»**

Кафедра фізики і хімії твердого тіла

Фізико-хімічний інститут

Навчально-дослідний центр напівпровідникового матеріалознавства

**Державний фонд фундаментальних досліджень**

**АКАДЕМІЯ НАУК ВИЩОЇ ШКОЛИ УКРАЇНИ**

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ**

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова

Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка

Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова

Інститут загальної і неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського

**Українське фізичне товариство**

**Інститут інноваційних досліджень**

**XVI МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ З ФІЗИКИ І ТЕХНОЛОГІЇ**  
**ТОНКИХ ПЛІВОК ТА НАНОСИСТЕМ**

**(присвячена пам'яті професора Дмитра Фреїка)**

**Матеріали**

*Івано-Франківськ, 15-20 травня, 2017*

---

---

*Ivano-Frankivsk, May 15-20, 2017*

**Materials**

**XVI INTERNATIONAL CONFERENCE ON PHYSICS AND  
TECHNOLOGY OF THIN FILMS AND NANOSYSTEMS**  
**(dedicated to memory Professor Dmytro Freik)**

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE**

**Vasyl Stefanyk Precarpathian National University**

Physics and Chemistry of Solid State Department

Physical-Chemical Institute

Educational Research Centre of Semiconductor Material

**State Fund of Fundamental Research**

**ACADEMY OF SCIENCE OF HIGH SCHOOL OF UKRAINE**

**NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE OF UKRAINE**

V.E. Lashkarev Institute of Semiconductor Physics

Chuiko Institute of Surface Chemistry

G.V. Kurdyumov Institute of the Physics of Metals

V.I. Vernadsky Institute of General and Inorganic Chemistry

**Ukraine Physics Society**

**Institute of innovation research**

**УДК 539.2**  
**ББК 22.373.1**  
**П 80**

**XVI Міжнародна конференція з фізики і технології тонких плівок та наносистем (присвячена пам'яті професора Дмитра Фреїка). *Матеріали.***  
 / За заг. ред. проф. Прокопів В.В. – Івано-Франківськ : Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2017. – 388 с.

Представлено сучасні результати теоретичних і експериментальних досліджень з питань фізики і технології тонких плівок та наносистем (метали, напівпровідники, діелектрики, провідні полімери; методи отримання та дослідження; фізико-хімічні властивості; нанотехнології і наноматеріали, квантово-розмірні структури, наноелектроніка, тощо. Матеріали підготовлено до друку [Програмним комітетом](#) конференції і подано в авторській редакції.

Для наукових та інженерних працівників, що займаються проблемами тонкоплівкового матеріалознавства та мікроелектроніки.

Рекомендовано до друку науково-технічною радою Фізико-хімічного інституту ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»

**XVI International Conference Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems (dedicated to memory Professor Dmytro Freik). *Materials.*** / Ed. by Prof. Prokopiv V.V. – Ivano-Frankivsk : Publisher Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 2017. – 388 c.

The results of theoretical and experimental researches in directions of the physics and technology of thin films and nanosystems (metals, semiconductors, dielectrics, and polymers; and methods of their investigation; physic-chemical properties of thin films; nanotechnology and nanomaterials, quantum-size structures; thin-film devices of electronics, are presented. The materials preformed for printing by Conference's Organizational Committee and Editorial Board, are conveyed in authoring edition.

For scientists and reserchers on the field of thin-film material sciences and nanoelectronics.

©ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», 2017

© Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 2017

## **PROGRAM COMMITTEE / EDITORIAL BOARD**

### **Editor-in-Chief**

Prof. Volodymyr PROKOPIV

*Vasyl Stefanyk Precarpathian national University (Ivano-Frankivsk, Ukraine)*

### **Vice Editors-in-Chief**

Acad. Volodymyr LITOVCHENKO

*V.E.Lashkarev Institute of Semiconductors Physics, NAS in Ukraine (Kyiv, Ukraine)*

Prof. Andriy ZAGORODNYUK

*Vasyl Stefanyk Precarpathian national University (Ivano-Frankivsk, Ukraine)*

### **Program Committee**

Prof. Juozas AUGUTIS (*Kaunas, Lithuania*); Prof. Mahammad BABANLY (*Baku, Azerbaijan*); Prof. Slavko BERNIK (*Ljubljana, Slovenia*); Prof. Attila CSÍK (*Debrecen, Hungary*); Prof. Mykola DMYTRUK (*Kyiv, Ukraine*); Prof. Petro FOCHUK (*Chernivtsy, Ukraine*); Prof. Bruce GNADE (*Dallas, USA*); Prof. Gaetano GRANOZZI (*Padova, Italia*); Prof. Yuri GUREVICH (*Mexico City, Mexico*); Prof. Eugeny IVAKIN (*Minsk, Belarus*); Acad. Orest IVASISHIN (*Kyiv, Ukraine*); Prof. Zhao HUI (*Harbin, P.R. China*); Prof. Ivan KABAN (*Dresden, Germany*); Acad. Vasyl KLADKO (*Kyiv, Ukraine*); Prof. Sandor KÖKÉNYESI (*Debrecen, Hungary*); Prof. dr. hab. Marek KUNABRONIOWSKI (*Lublin, Poland*); Prof. Georgy LASHKAREV (*Kyiv, Ukraine*); Dr. Petro LYTVYN (*Kyiv, Ukraine*); Prof. Bingbing LIU (*Changchun, P. R. China*); Prof. Georgy MALASHKEVICH (*Minsk, Belarus*); Prof. Georgy MLADENOV (*Sofia, Bulgaria*); Acad. Anton NAUMOVETS (*Kyiv, Ukraine*); Prof. Ivan PROTSENKO (*Sumy, Ukraine*); Prof. Olena ROGACHEVA (*Kharkiv, Ukraine*); Prof. Eduard SHPILEVSKY (*Minsk, Belarus*); Dr. Petro SMERTENKO (*Kyiv, Ukraine*); Prof. John STOCKHOLM (*Vernouillet, France*); Prof. Tomasz STORY (*Warsaw, Poland*); Dr. Zbigniew SWIATEK (*Krakow, Poland*); Acad. Ion TIGINYANU (*Chisinau, Moldova*); Prof. Arnolds ŪBELIS (*Riga, Latvia*); Prof. Grzegorz WISZ (*Rzeszow, Poland*); Prof. Krzysztof WOJCIECHOWSKI (*Kraków, Poland*); Prof. Paweł ŻUKOWSKI (*Lublin, Poland*)

## Mathematical Methods of Planning and Optimization Processes Growing of Thin Films and Nanostructures $A^{II}B^{VI}$ and $A^{IV}B^{VI}$ from the Vapor Phase

Lopjanko M.A.

*Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine*

It is known that semiconductors groups AII BVI and AIV BVI have unique features number that allows them to apply for production of photodetectors and lasers with spectral range of 3-50 microns. Advances for reduce the size of photonic devices closely related with the use of controlled growing of epitaxial thin layers. Despite numerous studies of thin films and nanostructures compounds of AII BVI and AIV BVI, still not fully clarified the impact of growing conditions on the electrical parameters of thin-layer material.

In this paper, using the method of mathematical planning of multifactor experiments received the dependence of the electrical properties of thin layers and nanostructures of PbTe from technological factors of growing from vapor phase by the method of hot wall.

As substrate used fresh chips (111) of crystal BaF<sub>2</sub>. To describe the dependence of the electrical parameters of thin layers from technology factors were constructed global polynomial models in 3-factor hyperspace using mathematical modeling. For factors which vary (k=3) were selected substrate temperature (T<sub>S</sub>), evaporator temperature (T<sub>V</sub>) and chamber walls temperature (T<sub>C</sub>) technologically acceptable change range of which are respectively:

$$473 \text{ K} \leq T_S \leq 623 \text{ K}, 758 \text{ K} \leq T_V \leq 878 \text{ K}, 833 \text{ K} \leq T_C \leq 983 \text{ K}.$$

Optimization parameters are: charge carrier mobility ( $\mu$ ), concentration ( $n$ ), Seebeck coefficient ( $\alpha$ ), conductivity ( $\sigma$ ), thermoelectric power ( $\alpha^2\sigma$ ), and value:

$$Z = \mu/\mu_{\max} + (n/n_{\min})^{-1} + (\alpha^2\sigma)/(\alpha^2\sigma)_{\max},$$

which is a complex optimization parameter.

Choosing the latter option due to the need of researchers to obtain thin layers with maximum values  $\mu_{\max}$ ,  $(\alpha^2\sigma)_{\max}$  and minimum concentration  $n_{\min}$ . Optimization was performed for summary values:

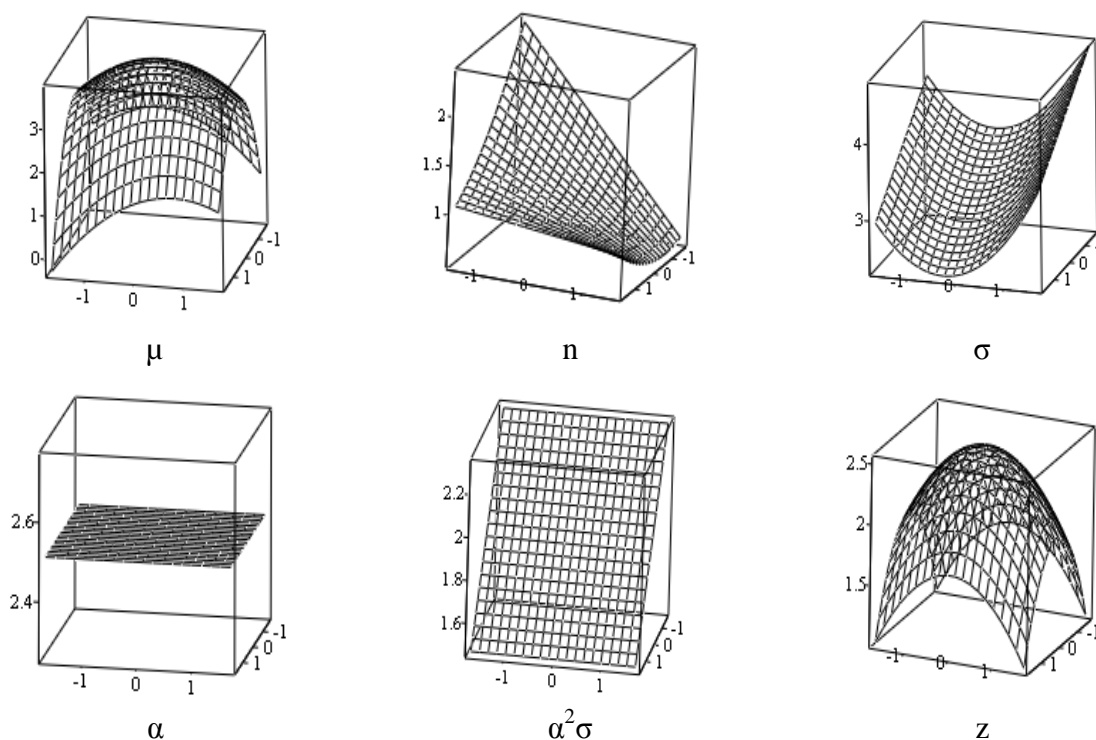
$$\begin{aligned} \mu &= \mu/\mu_0, \text{ where } \mu_0 = 10^4 \text{ sm}^2 \times \text{V}^{-1} \times \text{s}^{-1}, n' = n/n_0, \text{ where } n_0 = 10^{17} \text{ sm}^{-3}, \\ \sigma &= \sigma/\sigma_0, \text{ where } \sigma_0 = 10^2 \text{ Ohm}^{-1} \times \text{sm}^{-1}, \alpha' = \alpha/\alpha_0, \text{ where } \alpha_0 = 10^2 \text{ B}^1 \times \text{K}^{-1}, \\ (\alpha^2\sigma)' &= (\alpha^2\sigma)/(\alpha^2\sigma)_0, \text{ where } (\alpha^2\sigma)_0 = 10^2 \text{ W} \times \text{K}^{-2} \times \text{sm}^{-1}. \end{aligned}$$

In describing the dependence of the electrical parameters from technological factors identified models of a different order. Borders of adequacy model are defined as the cube which inscribed in hypersphere of planning with radius  $R=\alpha$ , were  $\alpha$  - magnitude shoulder of star.

The data presented in the table and shown in the form of hypersurfaces of response.

**Table**

Parameters	Regression equation	Values of factors
Charge carrier mobility $\mu'$	$3.89 - 0.20x_1 - 0.12x_2 + 0.22x_1x_2 - 0.36x_1x_3 + 0.23x_2x_3 - 0.76x_1^2 - 0.31x_2^2 - 0.44x_3^2$	$x_1 = \frac{(T_{II} - 548)K}{45K}$
Concentration $n'$	$1.07 - 0.15x_1 - 0.31x_2 - 0.44x_3 + 0.15x_1x_2 + 0.23x_1x_3 + 0.35x_2x_3 - 0.06x_1^2 + 0.19x_3^2$	
Seebeck coefficient $\alpha'$	$2.51 - 0.44x_1x_3 - 0.31x_3^2$	
Conductivity $\sigma'$	$2.97 - 0.35x_1 + 0.18x_2 + 0.50x_3 + 0.16x_1x_3 + 0.77x_2x_3 + 0.31x_2^2 + 0.24x_3^2$	$x_2 = \frac{(T_B - 818)K}{35K}$
Thermoelectric power $(\lambda^2\sigma)'$	$1.90 - 0.26x_1 - 0.59x_1x_3 + 0.43x_2x_3 - 0.28x_3^2$	$x_3 = \frac{(T_C - 908)K}{45K}$
Z	$2.53 - 0.35x_1x_3 - 0.30x_1^2 - 0.23x_2^2 - 0.38x_3^2$	



**Fig.** Response hypersurfaces at a fixed value  $x_3=0$ .

1. Adler Ju. P., Markova E. V., Granovskij Ju. V. Planirovanie jekperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij. – M., 1971. – 255 s.
2. Nalimov V. V., Chernova N. A. Statisticheskie metody planirovanija jeksperimenta. – M., 1965. – 339 s.
3. Beleckij A. V., Kunickij Ju. A., Freik D. M., Shperun V. M. Metody planirovanija i optimizacii fizicheskogo jeksperimenta.- K.: KPI, 1980. – 95 s.
4. Bondar' A. G., Statjuha G. A. Planirovanie jeksperimenta v himicheskoy tehnologii. – K.: Nauka. – 1976. – 247 s.
5. Hartman K., Leckij Je., Shefer V. Planirovanie jeksperimenta v issledovanii tehnologicheskikh processov. – M.: Mir, 1977. – 246 s.
6. Shvedkov E.L. Jeksperimental'naja matematicheskaja statistika v jeksperimental'nyh zadachah materiallovedenija. – K.: Naukova Dumka, 1975. – 216 s