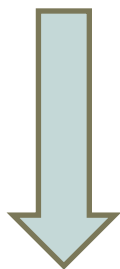


Середньотемпературні

Науковий колектив

ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”:

- Фізико-хімічний інститут;
- Кафедра фізики і хімії твердого тіла



Наукова школа з фізико-хімічних проблем напівпровідникового термоелектричного матеріалознавства:

4 доктори наук, професора; 14 кандидатів наук, доцентів, 8 аспірантів.

За час існування школи підготовлено 4 доктори наук, 47 кандидатів наук.

За останні 10 років виконано 16 наукових проектів, спрямованих на розроблення технології та вивчення властивостей напівпровідникових матеріалів на основі сполук II-VI та IV-VI (об'ємні, плівкові та нанокompозитні структури) для подальшого використання у термоелектриці та пристроях ІЧ-техніки.

Приклади успішних наукових проєктів:

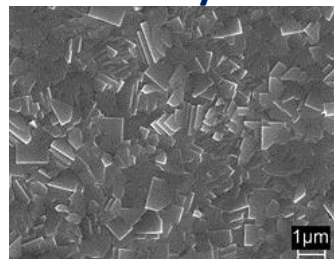


PbTe:Bi

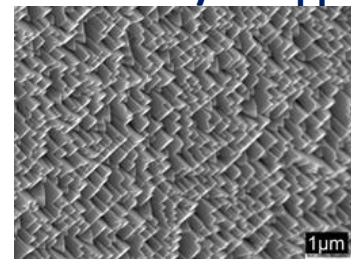
Нові напівпровідникові матеріали на основі телуриду свинцю для термоелектричних перетворювачів енергії

Топологічні типи та оптичні властивості нанокристалічних структур на основі сполук IV-VI

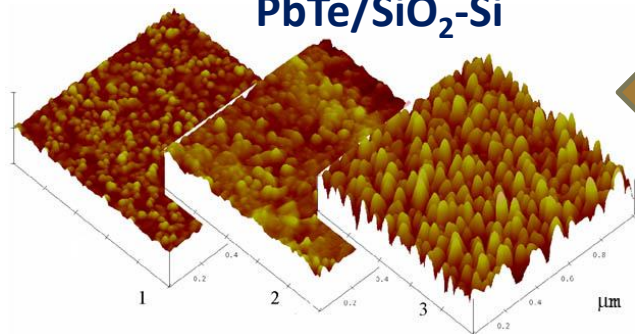
PbTe/скло



PbTe/слюда



PbTe/SiO₂-Si



Технологія, спектральні та термоелектричні властивості шарів низькорозмірних гетероструктур на основі телуриду свинцю



Назва: Термоелектричні матеріали та пристрої для енергозаощадження та підвищення безпеки

Thermoelectric Materials and Devices for Energy Saving and Security Increase

Тривалість: **24 місяці**

Виконавці проекту:



країна NATO - Gazi University (Ankara, **Turkey**);

країна – партнер NATO – Vasyl Stefanyk Precarpathian National University (Ivano-Frankivsk, **Ukraine**)

Бюджет проекту

За роками		За категоріями	
Рік 1	€ 121 200	Обладнання	€ 144 400 (60.4%)
Рік 2	€ 117 800	Тренінги/Стипендії	€ 24 400 (10.2%)
		Впровадження	€ 70 200 (29.3%)
Загальний внесок NATO			€ 239 000
Зовнішнє фінансування (не NATO)			€ 80 000



Мета проекту

Розробка технології інноваційних композитних термоелектричних матеріалів на основі напівпровідників IV-VI (PbTe, SnTe) із нановключеннями та покращення їх параметрів для роботи у середньому діапазоні температур (450-800) К, а також створення на їх основі надійних, екологічно чистих термоелектричних модулів для практичного використання в якості джерел альтернативної енергії, охолоджувальних пристроїв (медицина, комп'ютерні сервери, ІЧ-датчики), а також для спеціальних застосувань (космос, катодний захист, транспорт, військові цілі).

ТЕГ для перетворення теплової сонячної енергії



ТЕГ для вихлопних газів



Термоелектрична енергія у важкій військовій техніці (USA, Abrams Tank)



ТЕГ для медичних контейнерів



ТЕГ для геотермального перетворення енергії

Відповідність пріоритетам НАТО:

1.b)- і) Інноваційні рішення щодо енергії для військової сфери; відновлювальна енергетика для військового використання;

3.a) Передові безпекові технології: новітні технології, у т.ч., нанотехнології.



*This project
is supported by:*

The NATO Science for Peace
and Security Programme

Завдання проекту

Синтез нових матеріалів
+
формування термоелементів

Створення ТЕ-модулів
+
ТЭ-перетворювачів

Year 1:

Матеріали А:
Багатокомпонентні сполуки:
Pb-Bi(Sb)-Te, Pb-Sn-Te

ТЕ-модулі на основі
напівпровідників IV-VI

Year 2:

Матеріали В:
Матеріали із нановключеннями

ТЕ-генератори на основі
матеріалів
А) і В)

Бізнес-план виробництва
ТЕ-матеріалів

Технічна документація
виробництва ТЕ-перетворювачів

Підготовка до серійного виробництва

Середньотемпературні термоелектричні перетворювачі енергії: стан і перспектива



*This project
is supported by:*

The NATO Science for Peace
and Security Programme

Milestone	Month	2014												2015											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
TE-analysis: state of art in research and market																									
Development of technology for TE-materials																									
2.1. Multi-component compounds: alloying																									
2.2. TE-materials with nano-inclusions																									
2.3. Optimization for TE-parameters of obtained materials																									
2.4. Development technology for thermo-couples																									
Design of TE-devices																									
3.1. Design of TE-modules																									
3.2. Design of TE-generator																									
3.3. Electronic diagnostic system: construct and testing																									
3.4. Experimental evaluation																									
Implementation of results by industrial end-users																									
4.1. Training for human resources in industry																									
4.2. Integration of new results into manufacturing process																									
4.3. Preparing of final design of the TE-generator																									
4.4. Production of prototype of TE-generator for special purposes																									
PR-campaign and promotions of TE-products																									
Deliverable																									
Progress Report																									



*This project
is supported by:*

The NATO Science for Peace
and Security Programme

Кінцеві користувачі

TES Thermoelectric Systems Ltd.



ВО "Карпати"



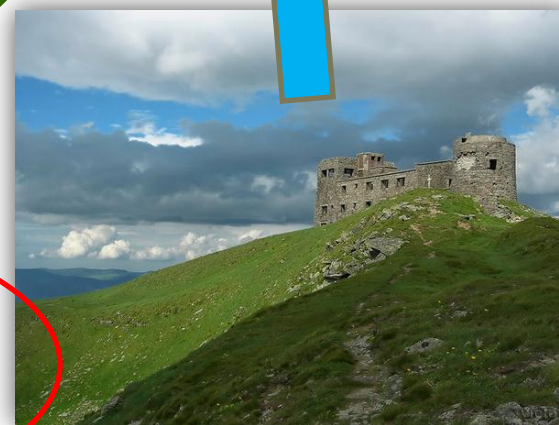
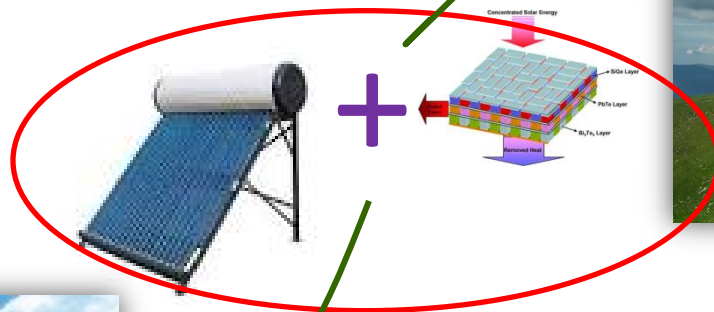
Пілотна експлуатація

Розпочато підготовку 2-ох пілотних проектів щодо встановлення системи *“Концентратор теплової сонячної енергії – термоелектричний генератор”*.

Джерела фінансування:

- 1) ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”;
- 2) SPS NATO Project (SPS#984536).

ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”:
гаряча вода та термоелектрична енергія для університетської столової та спортивного залу



Астрономічна лабораторія на горі Піп Іван (2020м.) при ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”:
гаряча вода та термоелектрична енергія для пункту рятувальників МНС.



Діяльність після проекту

Створення і розвиток виробництва на базі **наукового парку «Прикарпатський університет»** із залученням потужностей **ВО «Карпати»** (м. Івано-Франківськ) та Інституту термоелектрики НАН і МОН України (м. Чернівці)

- ТЕ-матеріали (Україна);
- ТЕ-елементів (Україна);
- ТЕ-модулі (Туреччина);
- ТЕ-генератори (Туреччина);
- Розширення асортименту в-ва ТЕ-продукції із врахуванням нових викликів для військових цілей



“ВИРОБНИЧЕ ОБ’ЄДНАННЯ “КАРПАТИ” УкрОборонПром Державний концерн



INSTITUTE OF THERMOELECTRICITY

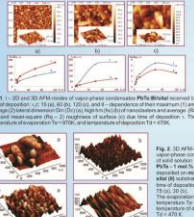
National Academy of Sciences and Ministry of Education and Science,
Youth and Sports of Ukraine

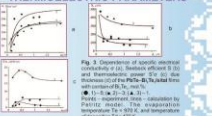
Апробація результатів: International Conference on Thermoelectric ICT2014, Nashville, TN, USA

Pb-Sb(Bi)-Te Thin-Films Condensates for Thermoelectric Application


Lyubomyr Nykyrnyy*, Dmytro Frenk*, Lyubov Mezhylovska, Rusak Alkaskas, and Volodymyr Popok*
 *Vasyl Shelyk Preschool National University, 57 Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine; lyubomir.nykyrnyy@gmail.com
 **Yildiz Technical University, 39300 Ankara, Turkey; alkaskas@yildiz.edu.tr

ABSTRACT
 In this work we investigate the vapor phase condensates on the base of semiconductor PbTe, Bi₂Te₃ and solid solutions PbTe_{1-x}Sb_xTe₃ with stable n-type of conductivity and high carrier concentration, and the various features of their properties. Condensates obtained from vapor phase condensation of PbTe, Bi₂Te₃ and solid solutions PbTe_{1-x}Sb_xTe₃ (0.05 ≤ x ≤ 0.15) are investigated and their properties are characterized. The influence of technological factors on the composition of the condensates, the dependence of electrical conductivity and the sign of conductivity on the composition of the condensates are investigated. These results show that the composition of the condensates depends on the composition of the starting materials and the growth conditions. The results show that the composition of the condensates depends on the composition of the starting materials and the growth conditions. The results show that the composition of the condensates depends on the composition of the starting materials and the growth conditions.

STRUCTURE OF FILMS

 Fig. 1. SEM images of vapor phase condensates PbTe, Bi₂Te₃ and solid solutions PbTe_{1-x}Sb_xTe₃ (0.05 ≤ x ≤ 0.15) obtained by the vapor phase condensation method. The images show the morphology of the condensates, which are characterized by a porous structure and a high surface area.

THERMOELECTRIC PARAMETERS

 Fig. 2. Dependence of electrical conductivity (σ), Seebeck coefficient (S) and thermoelectric figure of merit (ZT) on the composition of the condensates. The graphs show that the electrical conductivity and Seebeck coefficient increase with the composition of the condensates, while the thermoelectric figure of merit decreases.

ACKNOWLEDGEMENTS
 This research is sponsored by NATO's Public Diplomacy Division in the framework of "Science for Peace" (NATO NUKR-SFPF 884336).



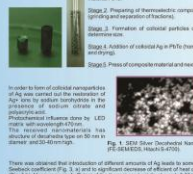
Thermoelectric Composites on the Base of PbTe with Nano-inclusions of Colloidal Ag

Rusak Alkaskas*, Lyubomyr Nykyrnyy*, Dmytro Frenk*, Lyubov Mezhylovska*, Ihor Horichok*, and Yuri Khavkivskii*
 *Dau University, Tekelilerkapi 81000 Ankara, Turkey; ihorhorichok@du.edu.tr
 **Yildiz Technical University, 39300 Ankara, Turkey; alkaskas@yildiz.edu.tr
 ***Yuzuncu Yil University, 46100 Van, Turkey; ynykyrnyy@yuzuni.edu.tr
 ****Yuzuncu Yil University, 46100 Van, Turkey; ynykyrnyy@yuzuni.edu.tr


ABSTRACT
 The thermoelectric composites based on PbTe with nano-inclusions of colloidal Ag were synthesized. The results show that the composition of the composites depends on the composition of the starting materials and the growth conditions. The results show that the composition of the composites depends on the composition of the starting materials and the growth conditions.

STATE OF ART
 1. M. S. Islam, A. E. Frazee, Thermoelectric materials with embedded nanoparticles, J. Mater. Sci. (2013) 46: 2767-2778.
 2. J. H. Park, S. H. Park, and S. H. Park, High performance bulk thermoelectricity, Nature Mater. (2010) 9: 451-456.

EXPERIMENT
 Step 1. Preparing and synthesis of thermoelectric material PbTe.
 Step 2. Preparing of thermoelectric composite material by adding nano-inclusions of Ag.
 Step 3. Formation of colloidal particles of Ag of the size of 10-20 nm.
 Step 4. Addition of colloidal Ag to PbTe thermoelectric material.
 Step 5. Press of composite material and manufacturing.

RESULTS AND DISCUSSION

 Fig. 1. The results of composite material PbTe with nano-inclusions of Ag. The images show the morphology of the composites, which are characterized by a porous structure and a high surface area.

ACKNOWLEDGEMENTS
 This research is sponsored by NATO's Public Diplomacy Division in the framework of "Science for Peace" (NATO NUKR-SFPF 884336).



Market of Modern Thermoelectric Devices: Market Needs and Proposals

Natalia Frenk, Volodymyr Popok, and Taras Parashchuk
 *Vasyl Shelyk Preschool National University, 57 Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine; volodymyr.popok@gmail.com


ABSTRACT
 Application of thermoelectric composites of lead telluride could be energy in the power generation in increasing energy security. It is 100% discharged (outgoing) of lead energy is released at nuclear facilities and is captured at the surface temperature of 600 °C, creating a significant contribution to environmental degradation, global warming effect. The market potential is estimated by three orders of magnitude. This method is the most market being to bring to the market to perform to increase the needs of the market in Turkey and Ukraine, as well as other countries for potential NATO. The research results are presented at the first stage of project "Science for Peace" (NATO NUKR-SFPF 884336).

PART 1. SOCIOLOGY AND MARKET NEEDS
 Sociological survey done on available information on the use of thermoelectric devices by researchers in the field. It was found in respondents countries the information about the existence of thermoelectric devices amounted to 75%, but the actual application stated below 15%. It should be noted that Ukraine and, especially, Turkey are a country with high potential of advanced use of the thermoelectricity, because, as a large number of energy sites for energy the presence of these devices. A significant number of scientific works were used for forming conclusions, existence of NATO in Turkey, etc. The conclusions show the need for more systematic and targeted introduction of thermoelectric devices for wide range of applications, as well as the need for systematic advertising campaigns on alternative energy and thermoelectricity in particular.

PART 2. MARKET NEEDS AND POSSIBILITY FOR START-UPS
 The task of research is to create full cycle development, mass production and promotion of thermoelectricity conversion based on application of composites of PbTe-VI group, working in a range of medium temperature (300-600K), the results presented in the form of the studies with parameters close to the practically achieved. Production is proposed to place on the basis of Physics-Chemical Institute of the Vasyl Shelyk Preschool National University. The project required that the size of the Company's investment is about 100,000 U.S. dollars per year.

CONCLUSIONS
 1. This research consists in the solution of a full cycle of development, commercialization and mass production and promotion of thermoelectricity conversion based on application of composites of PbTe-VI group.
 2. Commercially produced size of each unit - 400 thousand U.S. dollars. The financial and economic analysis suggests that the project can be implemented with high efficiency (profitable period about 1-2 years).
 3. The main risk - disruption in terms of obtaining credit. Competition management and promotion policy reduces this risk to a minimum.

ACKNOWLEDGEMENTS
 This research is sponsored by NATO's Public Diplomacy Division in the framework of "Science for Peace" (NATO NUKR-SFPF 884336).





Апробація результатів : патенти та останні публікації

- Патент України № 103530. Спосіб отримання квантово-розмірного термоелектричного матеріалу. Фреїк Д.М., Никируй Л.І., Чобанюк В.М., Юрчишин І.К., Лисюк Ю.В. Номер заявки а201114629. Дата публ. 25.10.2013. Бюл. №20/2013.
- Заявка на отримання патенту України. Спосіб отримання термоелектричного композиту PbTe із нановключеннями Ag. Фреїк Д.М., Никируй Л.І., Горічок І.В., Халавка Ю.Б. (на стадії розгляду).



- Ahiska R., Freik D., Parashchuk T., Gorichok I. Quantum chemical calculations of the polymorphic phase transition temperatures of ZnS, ZnSe, and ZnTe crystals // **Turkish Journal of Physics** – 2014. – №38. – С. 125-129.
- Parashchuk T.O., Freik N.D., Fochuk P.M. DFT-Calculations of Thermodynamic Parameters of ZnTe, ZnSe, ZnS Crystals // **Physics and Materials Chemistry** – 2014. – V. 2, № 1. – P. 14-19.
- Дзумедзей Р.О., Никируй Л.І., Борик В.В., Бандура Ю.В., Гевак Т.П. Термоелектрична ефективність твердих розчинів PbTe_{1-x}Se_x у широкому температурному інтервалі 300-800 К // **Фізика і хімія твердого тіла** – 2014. – Т. 15, №1. С. 54-57.
- Чав'як І.І., Межиловська Л.Й., Маковишин В.І., Прокопів В.В. Термоелектричні властивості і дефектна підсистема парофазних конденсатів станум телуриду на ситалових підкладках // **Фізика і хімія твердого тіла** – 2014. – Т. 15, №1. – С. 123-129.
- Фреїк Д.М., Криськов Ц.А., Горічок І.В., Люба Е.С., Криницький О.С., Рачковський О.М. Синтез, властивості і механізми легування сурмою термоелектричного телуриду свинцю PbTe:Sb // **Термоелектрика** – 2013. – №2. –С. 44-52.
- Dmytro Freik, Rasit Ahiska, Igor Gorichok, Lyubomyr Nykyruy, Natalia Dykun, Kivilcim Aktas, Selim Acar and Gunay Ahiska. Synthesis and Analyses of Thermoelectric Lead Telluride // **Journal of Materials Science and Engineering B** 3 (1) (2013) 32-39.
- Shimko A.N., Malashkevich G.E., Freik D.M., Nykyruy L.I., Lytovchenko V.G. Effect of thermal treatment in air on ir spectra and surface structure of PbTe films // **Journal of Applied Spectroscopy** – 2013. – V. 80, N 6. – P. 932-935.
- Фреїк Д.М., Дзундза Б.С., Яворський Я.С., Біліна І.С., Люба Т.С. Явища переносу у парофазних конденсатах PbTe-Bi₂Te₃ на ситалі // **Журнал нано- та електронної фізики** – 2013. – Т.5, №3. – С. 03054-1 - 03054-6.
- Freik D.M., Turovska L.V. Point defects and physico-chemical properties of crystals in Pb-Bi-Te system // **Chemistry & Chemical Technology** – 2013. – V. 7, №4. – P. 375-380.

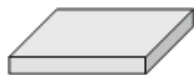
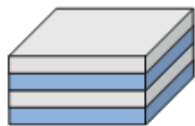
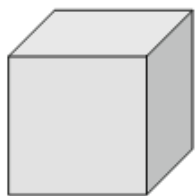
Сучасний стан: матеріали

$$ZT = S^2 \sigma / \chi$$

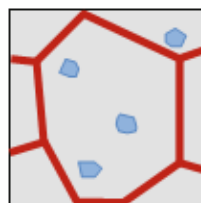
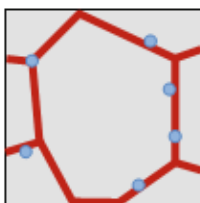
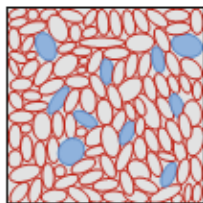
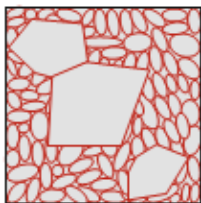
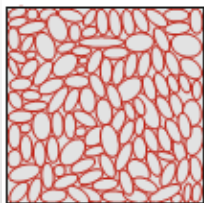
- Добротність ТЕ-матеріалів

Z – термоелектрична добротність, T – температура, S – коефіцієнт Зеєбека, σ – коефіцієнт питомої електропровідності, χ – питома теплопровідність.

Сучасний виклик для термоелектрики – створення матеріалів типу **"електронний кристал – фононе скло"**:



1 – від макро- до нано-



2 – введення наночастинок

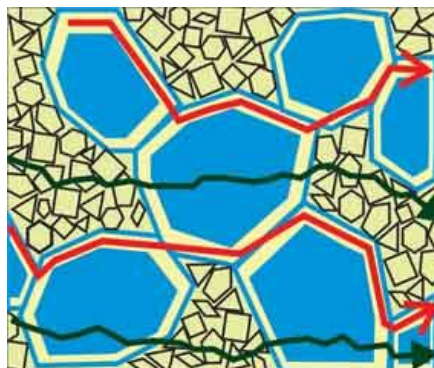
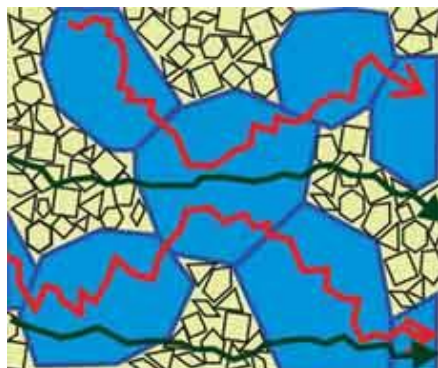
Новизна: матеріали

1. Застосування відомих методів до досліджуваних зразків:

- Введення великої кількості нановключень;
- Впорядкування нановключень (їх розміщення, чергування нановключень й макрозерен);
- Модуляція легування (формування композитів із легованими та не-легованими фазами)

Чтворення нового підходу:

- Формування провідних наноканалів



- Перенесення фононів
(тепла)
- Перенесення електронів
(струм)

- ### 2. Новий комплекс теоретичних методів дослідження матеріалів, розроблений авторами проекту, який одночасно включає: кристаллохімію, термодинаміку, квазіхімію та кристалоквазіхімію.

Наявні можливості

Лабораторне виробництво ТЕ-матеріалів із заданими термоелектричними характеристиками:

n-тип $\alpha^2\sigma \sim 80-100$ мкВ/(К²·см), $\chi \sim 0,05-0,1$ Вт м⁻¹К⁻¹

p-тип $\alpha^2\sigma \sim 0,8-0,9$ мкВ/(К²·см), $\chi \sim 0,1-0,4$ Вт м⁻¹К⁻¹

ZT ~ 1,3-1,4

Вакуумна установка HiCube

(вирбник: Pfeiffer Vacuum Austria GmbH)

На стадії закупки:

Дискова різка Secotom-15

Кульовий млин Pulverisette 7 Premium



Порівняння вартості одиниці отриманої ТЕ-енергії із іншою альтернативною енергією

Виробник	Перетворення енергії	Потужність (Вт)	Розміри (мм) маса (кг)	Вартість 1 Вт енергії
Наш ТЕ-модуль	ТЕ	60	40×40 0,55	\$1
Мото- Хуторок	фотоелектрична панель	50	640×550 4,5	\$1,79
ХАРСС	фотоелектрична панель	100	808×1080 11	\$2,7

Початок серійного виробництва

Маломасштабне серійне виробництво із розрахунку:

- 1 кг ТЕ-матеріалу на тиждень;
- 4 працівники (отримання матеріалу та модулів), 3 працівники (допоміжний персонал);

На тиждень планується зібрати – **50 ТЕ-модулів**, або **2500 модулів на рік**.

Вартість 1 модуля – 340 грн (~28 USD).

Вартості аналогічних модулів: **75 USD** (Melcor, USA), **44 USD** (Velleman, Belgium).

Термін окупності – 2,5 років із виходом на чистий прибуток ~960 000 грн на рік.



Потреби для початку серійного виробництва



Стаття бюджету	Необхідні кошти, грн/USD
Заробітна плата (на 1 рік)	360 000 / 30 000
Матеріали (на 1 рік)	500 000 / 41 000
Обладнання	2 000 000 / 160 000
Інші кошти	600 000 / 50 000
Всього	3 460 000 / 281 000

Дякую за увагу!