

## RECEȚIONAT

Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare

La data: \_\_\_\_\_

## AVIZAT

Secția AȘM \_\_\_\_\_

**RAPORT ȘTIINȚIFIC FINAL**  
**privind executarea proiectului de cercetări științifice fundamentale**  
**în cadrul concursului de proiecte independente pentru tineri cercetători**  
**pentru anul 2019**

Proiectul (titlul) **Optimizarea proprietăților termoconductibile a supramelelor bidimensionale pe bază de siliciu pentru aplicații în microelectronică**

Cifra Proiectului **19.80012.02.13F**

Direcția Strategică **Materiale, tehnologii și produse inovative (16.02)**

termen de executare: **31 decembrie 2019**

Conducătorul proiectului **COCEMASOV Alexandr, dr. conf. cerc.** \_\_\_\_\_  
(numele, prenumele) (semnătura)

Rectorul  
Universității de Stat din Moldova **CIOCANU Gheorghe, dr. hab., prof. univ.** \_\_\_\_\_  
(numele, prenumele) (semnătura)

Președintele Senatului  
Universității de Stat din Moldova **CIOCANU Gheorghe, dr. hab., prof. univ.** \_\_\_\_\_  
(numele, prenumele) (semnătura)

L.Ș.

**CHIȘINĂU – 2019**

## CUPRINS:

1. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE PROPUSE SPRE REALIZARE ÎN CADRUL PROIECTULUI.....	3
2. REZULTATELE ȘTIINȚIFICE OBȚINUTE ÎN CADRUL PROIECTULUI. ....	4
3. CELE MAI RELEVANTE REALIZĂRI OBȚINUTE ÎN CADRUL PROIECTULUI. ....	10
4. PARTICIPAREA ÎN PROGRAME ȘI PROIECTE INTERNAȚIONALE .....	11
5. COLABORĂRI ȘTIINȚIFICE INTERNAȚIONALE/NAȚIONALE. ....	12
6. VIZITE ALE CERCETĂTORILOR ȘTIINȚIFICI DIN STRĂINĂTATE. ....	13
7. TEZE DE DOCTORAT/POSTDOCTORAT SUSȚINUTE PE PARCURSUL REALIZĂRII PROIECTULUI. ....	13
8. MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE ORGANIZATE LA NIVEL NAȚIONAL/INTERNAȚIONAL. ....	13
9. APRECIEREA ACTIVITĂȚII ȘTIINȚIFICE PROMOVATE LA EXECUTAREA PROIECTULUI.....	13
10. REZUMATUL RAPORTULUI CU EVIDENȚIEREA REZULTATULUI, IMPACTULUI, IMPLEMENTĂRILOR, RECOMANDĂRILOR. ....	14
11. CONCLUZII. ....	15
12. BUGETUL PROIECTULUI, LISTA EXECUTORILOR, LISTA TINERILOR CERCETĂTORI.....	16
13. LISTA LUCRĂRILOR PUBLICATE .....	17
14. PARTICIPĂRI LA MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE NAȚIONALE/INTERNAȚIONALE. ....	18

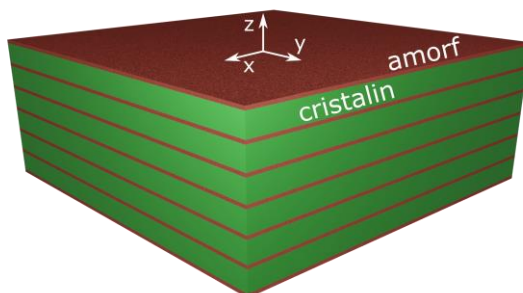
## **1. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE PROPUSE SPRE REALIZARE ÎN CADRUL PROIECTULUI**

Principalul obiectiv al proiectului este cercetarea teoretică a proprietăților termoconductibile în suprarețelele hibride cristalin/amorfe pe bază de siliciu în scopul optimizării conductibilității termice de rețea pentru aplicații în termoelectrică, nano- și microelectronică. A fost planificată efectuarea cercetărilor teoretice complexe a proprietăților fononice ale suprarețelor hibride, formate din siliciu cristalin (c-Si) ori amorf (a-Si), germaniu cristalin (c-Ge) ori amorf (a-Ge) și dioxid de siliciu cristalin (c-SiO<sub>2</sub>) ori amorf (a-SiO<sub>2</sub>). Astfel de structuri reprezintă materiale nanostructurate, care combină ”confinement”-ul spațial al purtătorilor de căldură (fononilor) în straturile separate cu posibilitatea mișcării cvazi-libere datorită periodicității structurii. Interacțiunea acestor două efecte opuse va permite de a dirija în mod flexibil și de a optimiza în mod eficient proprietățile sistemului fononic în scopul micșorării conductibilității termice de rețea, care este necesară în aplicațiile termoelectrice și termoizolante. Structura bidimensională a suprarețelor cercetate este comodă pentru integrarea lor în procesele tehnologice existente de fabricare a cip-urilor electronice pe bază de siliciu.

Obiectivele practice constau în formularea propunerilor inovaționale privind utilizarea suprarețelor 2D cristalin-amorfe cu proprietăți termice optimizate în nano- și microelectronica modernă, în special în aplicații termoelectrice și termoizolante.

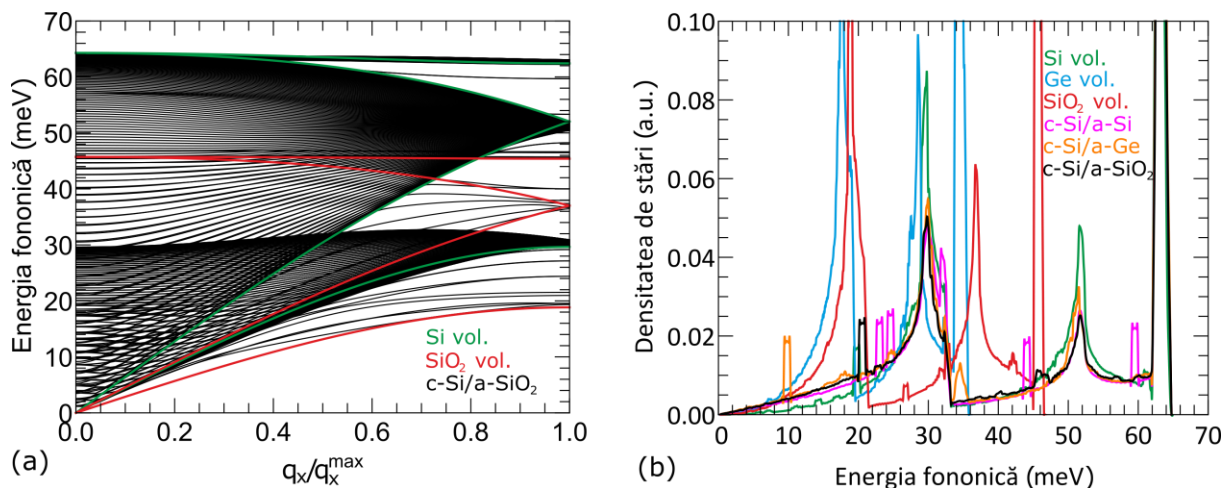
## 2. REZULTATELE ȘTIINȚIFICE OBTINUTE ÎN CADRUL PROIECTULUI.

În baza teoriei dinamicii rețelei Born – von Karman pentru suprafețele planare cristalin/amorfe a fost obținut sistemul ecuațiilor de mișcare pentru atomi. Schematică a suprafețelor planare cercetate este arătată în **Figura 1**.



**Figura 1.** Imaginea schematică a suprafeței planare multistratificate cristalin/amorfe.

A fost elaborat programul de calcul pentru soluționarea numerică al sistemului de ecuații de mișcare al atomilor. Astfel au fost calculate și analizate spectrele energetice, densitățile de stări și vitezele de grup medii ale fononilor în suprafețele cristalin/amorfe c-Si/a-Si, c-Si/a-Ge și c-Si/a-SiO<sub>2</sub>. În **Figura 2** sunt prezentate spectrul energetic al fononilor în suprafețele cristalin/amorfe c-Si(18nm)/a-SiO<sub>2</sub>(1nm) (panoul (a)) și densitatea de stări în suprafețele cristalin/amorfe c-Si(18nm)/a-Si(1nm), c-Si(18nm)/a-Ge(1nm), c-Si(18 nm)/a-SiO<sub>2</sub>(1nm) (panoul (b)).



**Figura 2.** (a) Spectrul energetic fononic a suprafeței cristalin/amorfe c-Si(18 nm)/a-SiO<sub>2</sub>(1 nm) (curbele negre). (b) Densitatea de stări în dependență de energia fononilor în suprafețele cristalin/amorfe c-Si(18 nm)/a-SiO<sub>2</sub>(1 nm) (curba neagră), c-Si(18 nm)/a-Si(1 nm) (curba violetă) și c-Si(18 nm)/a-Ge(1 nm) (curba portocalie). Pentru comparație sunt prezentate rezultatele pentru Si volumetric (curbele verzi), Ge volumetric (curbele albastre) și SiO<sub>2</sub> volumetric (curbele roșii).

Cum se vede din **Figura 2(a)** confainmentul dimensional de-a lungul axei Z a suprafeței rezultă în cuantificarea spectrului energetic al fononilor, adică în apariția unui număr larg de

ramuri fononice cuantificate. Analogic cu Si și SiO<sub>2</sub> volumetrice în spectrul fononic al suprarețelei putem observa trei „pachete” de ramuri fononice: de tip TA, de tip LA și de tip TO(LO). Însă, spre deosebire de cazul volumetric, unde toate vibrațiile atomilor sunt divizate exact pe transversale/longitudinale și acustice/optice, în suprarețele se manifestă clar efectul hibridizării fononice prin apariția vibrațiilor mixte. Aceste vibrații pot conține trei tipuri de hibridizare în diferite combinații: a) transversal-longitudinale (hibridizarea după polarizare); b) acusto-optice (hibridizarea după caracterul vibrațiilor în limita undelor lungi) și c) Si-Ge sau Si-SiO<sub>2</sub> (hibridizarea după material). Rezultatul cantitativ a hibridizării fononice dar și a efectului de confinement al fononilor în straturile nanometrice ai suprarețelelor este reprezentat în Figura 2(b) prin densitatea fononică de stări în dependență de energie. În rezultatul analizei teoretice a spectrelor energetice am încheiat că din cauza confinementului spațial în straturile nanometrice și a hibridizării fononice în suprarețele cristaline/amorfe apar vibrații mixte: transversal-longitudinale, acusto-optice, Si-Ge sau Si-SiO<sub>2</sub>.

Utilizând datele fononice obținute, aplicând ecuația cinetică Boltzmann și modelul difuzional al conductibilității termice lui Allen-Feldman, a fost calculat timpul de relaxare a fononilor și a fost modelată conductibilitatea termică fononică a suprarețelelor cristaline/amorfe c-Si/a-Si, c-Si/a-Ge și c-Si/a-SiO<sub>2</sub>. Conductibilitatea termică a suprarețelelor cercetate se definește prin următoarea ecuație:

$$\kappa = \frac{1}{4\pi^2 k_B T^2} \sum_s \iint (\hbar \omega_s(q_x, q_z) v_{x,s}(q_x, q_z))^2 \tau_{tot,s}(q_x, q_z) \frac{\exp(\hbar \omega_s(q_x, q_z) / k_B T)}{(\exp(\hbar \omega_s(q_x, q_z) / k_B T) - 1)^2} q_x dq_x dq_z. \quad (1)$$

Aici  $k_B$  - constanta lui Boltzmann,  $T$  – temperatura,  $s$  numerotează ramurile fononice,  $\hbar$  - constanta lui Planck,  $q_x$  și  $q_z$  – componentele vectorului de undă al fononului,  $\omega$  - frecvența fononului,  $v_x$  - componenta  $x$  a vitezei de grup a fononului,  $\tau_{tot}$  - timpul total de relaxare a fononului. Proprietățile termice ale suprarețelelor planare cristaline/amorfe sunt determinate de mai multe tipuri de împrăștiere fononice. În straturile cristaline din Si am luat în considerație două mecanisme caracteristice de împrăștiere: 1) împrăștierea fonon-fononică Umklapp și 2) împrăștierea fononilor pe defectele punctiforme ale rețelei cristaline. În cazul împrăștierii Umklapp numai procesele ce implică interacțiunea dintre trei fononi au fost luate în considerație și perioada de relaxare a fost calculată conform Ref. [1]:

$$\tau_{U,s}^{-1}(q_x, q_z) = BT \omega_s^2(q_x, q_z) \exp(-C/T). \quad (2)$$

Aici  $B$  și  $C$  sunt parametri valorile cărora determină dependența de temperatură a conductibilității termice a cristalului volumetric. Împrăștierea fononilor pe defectele punctiforme a fost modelată cu următoarea formulă [2]:

$$\tau_{DP,s}^{-1}(q_x, q_z) = \frac{V_0 \Gamma \omega_s^4(q_x, q_z)}{4\pi v_s^3(q_x, q_z)}, \quad (3)$$

unde  $V_0$  este volumul per atom,  $\Gamma$  este mărimea forței de împrăștiere pe defectele punctiforme. Astfel timpul de relaxare a fononilor în straturile cristaline s-a determinat prin formula:

$$\tau_{cristal,s}^{-1}(q_x, q_z) = \tau_{U,s}^{-1}(q_x, q_z) + \tau_{DP,s}^{-1}(q_x, q_z). \quad (4)$$

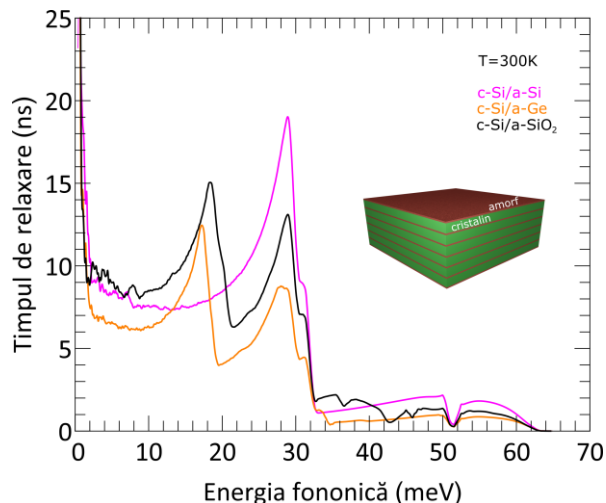
Utilizarea mecanismelor de împrăștiere (2) și (3) în cazul straturilor amorfe a-Si, a-Ge sau a-SiO<sub>2</sub> nu a fost posibilă, deoarece în materialele amorfe procesul de transport al căldurii are loc prin difuziune, ci nu prin propagarea undelor delocalizate ca în materialele cristaline. Modelul difuzional al conductibilității termice a fost descris inițial de P. Allen și J. Feldman în Ref. [3]. Însă, comparând ecuațiile pentru coeficientul conductibilității termice din teoria cinetică lui Boltzmann și teoria Allen-Feldman am obținut formula pentru modelarea timpului de difuziune a fononilor în straturile amorfe:

$$\tau_{amorf,s}^{-1}(q_x, q_z) = \frac{3\pi v_s^2(q_x, q_z) \omega_s(q_x, q_z)}{V_0^{2/3} \langle \omega \rangle}, \quad (5)$$

unde  $\langle \omega \rangle$  este frecvența medie de vibrație în materialul amorf. Valoarea lui  $\langle \omega \rangle$  s-a găsit din densitatea de stări fononice și anume a corespuns frecvenței la care valoarea integrală a densității de stări fononice normalizate era egală cu 1/2. Este important de notat, că ecuația obținută (5) nu conține parametri liberi și poate fi aplicată în general pentru orice material amorf. În modul acesta, timpul total de relaxare a fononilor în suprarețele cristalin/amorfe s-a calculat combinând timpurile de relaxare în straturile cristaline și amorfe, ținând cont de grosimile lor:

$$\tau_{tot,s}^{-1}(q_x, q_z) = \frac{d_{cristal}}{d_{cristal} + d_{amorf}} \tau_{cristal,s}^{-1}(q_x, q_z) + \frac{d_{amorf}}{d_{cristal} + d_{amorf}} \tau_{amorf,s}^{-1}(q_x, q_z). \quad (6)$$

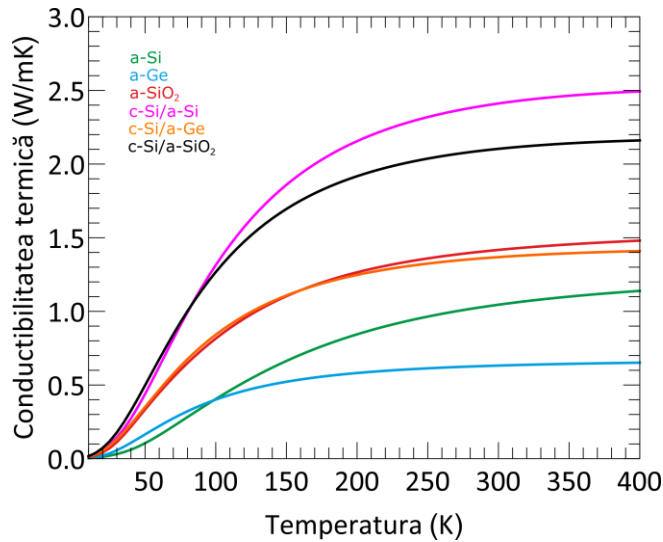
În **Figura 3** este prezentată perioada de relaxare a fononilor la temperatura camerei în suprarețele cristalin/amorfe c-Si/a-Si, c-Si/a-Ge și c-Si/a-SiO<sub>2</sub> în dependență de frecvența fononilor. Grosimea stratului cristalin a fost egală cu  $d_{cristal}=18$  nm, iar celui amorf  $d_{amorf}=5$  nm.



**Figura 3.** Perioada de relaxare a fononilor la  $T = 300\text{ K}$  în suprarețele cristalin/amorfe  $c\text{-Si}(18\text{ nm})/a\text{-Si}(5\text{ nm})$  (curba violetă),  $c\text{-Si}(18\text{ nm})/a\text{-Ge}(5\text{ nm})$  (curba oranj) și  $c\text{-Si}(18\text{ nm})/a\text{-SiO}_2(5\text{ nm})$  (curba neagră) în dependență de frecvența fononilor.

Din **Figura 3** se poate de observat, că perioada de relaxare demonstrează o dependență complicată de frecvența fononică. În general, timpul de relaxare a fononilor în suprarețeaua  $c\text{-Si}/a\text{-Ge}$  este mai mic decât în suprarețele  $c\text{-Si}/a\text{-Si}$  și  $c\text{-Si}/a\text{-SiO}_2$ . Aceasta poate fi explicat prin hibridizarea fononică, reducerea frecvenței medii de vibrație și respectiv la reducerea timpului de relaxare a fononilor în stratul amorf. Spre exemplu:  $\langle\omega\rangle=52\text{ meV}$  în suprarețeaua  $c\text{-Si}(18\text{ nm})/a\text{-Si}(5\text{ nm})$ ,  $\langle\omega\rangle=46\text{ meV}$  în suprarețeaua  $c\text{-Si}(18\text{ nm})/a\text{-SiO}_2(5\text{ nm})$ ,  $\langle\omega\rangle=35\text{ meV}$  în suprarețeaua  $c\text{-Si}(18\text{ nm})/a\text{-Ge}(5\text{ nm})$ . Cea mai mare perioadă de relaxare o posedă fononii de energie joasă  $\hbar\omega < 2\text{ meV}$ . Este vorba de fononii acustici care participă slab în împrăștierea de tip Umklapp și pe defectele punctiforme.

În **Figura 4** sunt arătate dependențele de temperatură a conductibilității termice în suprarețele cristalin/amorfe  $c\text{-Si}/a\text{-Si}$ ,  $c\text{-Si}/a\text{-Ge}$  și  $c\text{-Si}/a\text{-SiO}_2$ . Calculele au fost efectuate pentru  $d_{\text{cristal}}=18\text{ nm}$  și  $d_{\text{amorf}}=5\text{ nm}$ .

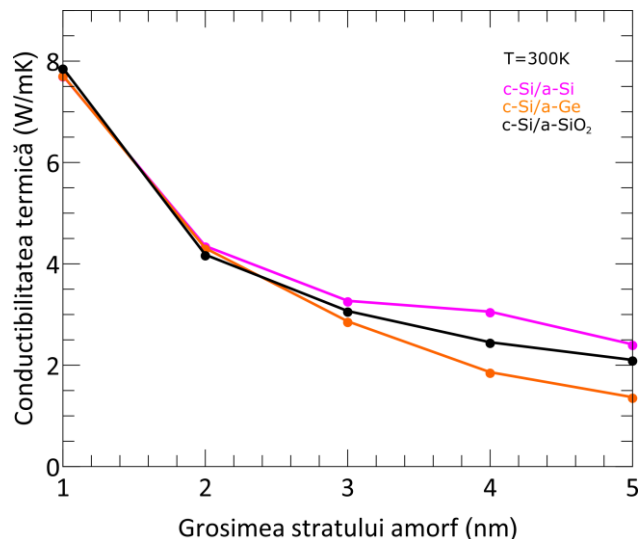


**Figura 4.** Conductibilitatea termică fononică în suprarețele cristalin/amorfe c-Si(18 nm)/a-Si(5 nm) (curba violetă), c-Si(18 nm)/a-Ge(5 nm) (curba oranj), c-Si(18 nm)/a-SiO<sub>2</sub>(5 nm) (curba neagră) în dependență de temperatură. Pentru comparație sunt prezentate și conductibilități termice a materialelor amorfe volumetrice: a-Si (curba verde), a-Ge (curba albastră) și a-SiO<sub>2</sub> (curba roșie).

Putem observa în **Figura 4**, că din cele trei suprarețele cristalin/amorfe suprarețeaua c-Si/a-Ge posedă o conductibilitate termică cea mai mică în întregul interval de temperatură, datorită timpului de relaxare a fononilor redus. La temperatura camerei conductibilitatea termică în suprarețeaua c-Si(18 nm)/a-Ge(5 nm) este doar 1.4 W/mK, ceea ce este cu ~ 40 % mai puțin decât în suprarețeaua c-Si(18 nm)/a-Si(5 nm) și cu ~ 30 % mai puțin decât în suprarețeaua c-Si(18 nm)/a-SiO<sub>2</sub>(5 nm). În general, valorile conductibilității termice în suprarețele cristalin/amorfe studiate sunt comparabile chiar și cu cele a materialelor amorfe volumetrice a-Si, a-SiO<sub>2</sub> și a-Ge, ceea ce indică la faptul că proprietățile termoconductibile a suprarețelilor cristalin/amorfe sunt determinate în mare parte de procesele fononice în straturile amorfe.

În **Figura 5** este arătată dependența conductibilității termice de grosimea stratului amorf în suprarețele cristalin/amorfe c-Si/a-Si, c-Si/a-Ge și c-Si/a-SiO<sub>2</sub>. Calculele au fost efectuate la temperatura camerei și pentru o valoare fixă a grosimii stratului cristalin  $d_{cristal}=18$  nm.





**Figura 5.** Conductibilitatea termică fononică la temperatura camerei în suprarețele cristaline/amorfe c-Si/a-Si (curba violetă), c-Si/a-Ge (curba oranj), c-Si/a-SiO<sub>2</sub> (curba neagră) în dependență de grosimea stratului amorf.

Din **Figura 5** se observă o scădere bruscă a conductibilității termice a suprarețelor cristaline/amorfe la creșterea grosimii stratului amorf. Însă deja la grosimea de 5 nm se vede clar caracterul de saturație al acestei dependențe, ceea ce indică la faptul că pentru atingerea valorilor minime a conductibilității termice în suprarețele cristaline/amorfe sunt de ajuns straturile amorfe de doar câțiva nanometri (5-7 nm). De notat și diferența dintre valorile conductibilității termice a suprarețelor c-Si/a-Si, c-Si/a-Ge, c-Si/a-SiO<sub>2</sub> – cu cât grosimea stratului amorf este mai mare, cu atât această diferență este mai pronunțată.

### **Bibliografie:**

[1] MINGO, N.; YANG, L.; LI, D.; MAJUMDAR, A. Predicting the thermal conductivity of Si and Ge nanowires. *Nano Letters*. 2003. vol. 3, p. 1713.

[2] NIKA, D.; POKATILOV, E.; ASKEROV, A.; BALANDIN, A. Phonon thermal conduction in graphene: Role of Umklapp and edge roughness scattering. *Phys. Rev. B*. 2009. vol. 79, p.155413. ISSN 2469-9969.

[3] ALLEN, P.B.; FELDMAN, J.L. Thermal conductivity of glasses: Theory and application to amorphous Si. *Phys. Rev. Lett*. 1989, vol. 62, p. 645.

### **3. CELE MAI RELEVANTE REALIZĂRI OBȚINUTE ÎN CADRUL PROIECTULUI**

Optimizarea proprietăților de transport a diferitor materiale nanostructurate este una din direcțiile propriu-zise și de perspectivă de dezvoltare a nanotehnologiilor, deoarece permite de a îmbunătăți esențial caracteristicile de lucru ale dispozitivelor electronice moderne. Suprarețele bidimensionale hibride cristalin/amorfe rămân studiate insuficient în literatura de specialitate. Relevanța cercetărilor fundamentale efectuate constă în:

- Elaborarea programului de calcul pentru soluționarea sistemului de ecuații de mișcare al atomilor în suprarețele cristalin/amorfe.
- Elucidarea dependenței conductibilității termice de temperatură și de grosimea stratului amorf. Pentru atingerea valorilor minime a conductibilității termice în suprarețelele cristalin/amorfe sunt de ajuns straturile amorfe de doar câțiva nanometri (5-7 nm).
- Stabilirea dependenței timpului de relaxare a fononilor de energie.
- Optimizarea suprarețelilor cristalin/amorfe după materialul stratului amorf. Am stabilit că suprarețeaua c-Si/a-Ge posedă conductibilitatea termică cea mai mică într-un interval larg de temperatură 10-400 K, datorită timpului de relaxare a fononilor redus.

Deplasările peste hotare efectuate de colaboratorii proiectului, împreună cu raportarea rezultatelor la conferințele științifice internaționale și publicarea articolelor științifice, au contribuit la confirmarea meritelor științifice ale Republicii Moldova în domeniul fizicii structurilor nanodimensionale, la colaborarea cu institutele de cercetare de peste hotare și la sporirea nivelului de relevanță a studiilor de specialitate.

#### **4. PARTICIPAREA ÎN PROGRAME ȘI PROIECTE INTERNAȚIONALE**

Propunere de proiect **70/22.10.19A** „*Materiale nanostructurate avansate pentru aplicații termoelectrice și senzori*” în cadrul concursului Program de Stat (2020-2023).

## 5. COLABORĂRI ȘTIINȚIFICE INTERNAȚIONALE/NAȚIONALE

Rezultatele obținute în cadrul proiectului prezintă interes pentru grupul de experientatori de la Institutul de Nanoștiințe Integrative din Dresda (Germania), care studiază în mod practic proprietățile termoconductibile a suprarețelelor planare cristalin/amorfe. În cadrul acestei colaborări a fost efectuată vizita unuia din executorii ai proiectului (dr. C. Isacova) la Institutul de Nanoștiințe Integrative din Dresda, unde au fost discutate rezultatele științifice curente, perspectivele de colaborare și pregătirea articolului științific comun la tema proiectului.

Deplasarea conducătorului de proiect, dr. A. Cocemasov la conferința internațională ”*Eighteenth Young Researchers Conference - Materials Science and Engineering, 2019*” la Belgrad (Serbia) cu prezentarea orală din cadrul tematicii acestui proiect, la fel a deschis oportunitatea de colaborare cu cercetători de la Academia de Științe și Arte din Serbia.

**6. VIZITE ALE CERCETĂTORILOR ȘTIINȚIFICI DIN STRĂINĂTATE**

Nu sunt.

**7. TEZE DE DOCTORAT/POSTDOCTORAT SUSȚINUTE PE PARCURSUL REALIZĂRII PROIECTULUI**

Nu sunt.

**8. MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE ORGANIZATE LA NIVEL NAȚIONAL/INTERNAȚIONAL**

Nu sunt.

**9. APRECIEREA ACTIVITĂȚII ȘTIINȚIFICE PROMOVATE LA EXECUTAREA PROIECTULUI**

Nu sunt.

## 10. REZUMATUL RAPORTULUI CU EVIDENȚIEREA REZULTATULUI, IMPACTULUI, IMPLEMENTĂRILOR, RECOMANDĂRILOR

Raport științific 18 pagini, 5 figuri, 3 referințe bibliografice.

În cadrul proiectului au fost cercetate teoretic proprietățile termoconductibile a suprarețelelor hibride cristalin/amorfe pe bază de siliciu în scopul optimizării conductibilității termice de rețea pentru aplicații în termoelectrică și microelectronică. Am stabilit:

- în suprarețele cristalin/amorfe c-Si/a-Si, c-Si/a-Ge și c-Si/a-SiO<sub>2</sub> confainmentul dimensional în direcția perpendiculară straturilor rezultă în cuantificarea spectrului energetic al fononilor, adică în apariția unui număr larg de ramuri fononice cuantificate.
- din cauza confainmentului spațial în straturile nanometrice și a hibridizării fononice în suprarețele cristalin/amorfe apar vibrații mixte: transversal-longitudinale, acusto-optice, Si-Ge sau Si-SiO<sub>2</sub>.
- pentru atingerea valorilor minimale a conductibilității termice sunt de ajuns straturile amorfe de doar câțiva nanometri (5-7 nm).
- suprarețeaua cu straturile amorfe din Ge posedă conductibilitatea termică cea mai mică într-un interval larg de temperatură 10 - 400 K, datorită timpului de relaxare a fononilor redus.

Rezultatele științifice obținute vor fi utilizate la actualizarea cursurilor de studii ținute de colaboratorii proiectului (C. Isacova; dr. A. Cocemasov) la Facultatea de Fizică și Inginerie a Universității de Stat din Moldova.

Pe baza rezultatelor au fost publicate 3 lucrări științifice: 1 articol în revista națională de categoria B și 2 teze la conferințe internaționale. Un articol se află la recenzie în revista *Journal of Physics: Condensed Matter* (ISI factor de impact = 2.7).

## 11. CONCLUZII

Rezultatele teoretice obținute arată că transportul de căldură în suprarețelele cristalin/amorfe c-Si/a-Si, c-Si/a-Ge și c-Si/a-SiO<sub>2</sub> este determinat, în mare parte, de procesele fononice în straturile amorfe, iar conductibilitatea termică minimală o posedă suprarețeaua cristalin/amorfă c-Si/a-Ge.

Rezultatele obținute sunt importante atât pentru dezvoltarea fundamentală a fizicii fononice și termice în nanostructuri, cât și pentru aplicațiile practice ale suprarețelor bidimensionale cristalin-amorfe în microelectronică și, în special, în aplicațiile termoelectrice și termoizolatoare, dat fiind valorile joase (sub 2 W/mK la temperatura camerei) a conductibilității termice.

Raportarea rezultatelor la conferințele științifice internaționale și publicarea articolelor științifice a contribuit la confirmarea meritelor științifice ale Republicii Moldova în domeniul fizicii structurilor nanodimensionale, la colaborarea cu institutele de cercetare de peste hotare și la sporirea nivelului de relevanță a studiilor de specialitate.

## 12. BUGETUL PROIECTULUI, LISTA EXECUTORILOR, LISTA TINERILOR CERCETĂTORI

Volumul total al finanțării (mii lei) (pe ani):

Anul	Planificat	Executat	Cofinanțare
2019	160	160	30

Lista executorilor:

Nr d/o	Numele/Prenumele	Anul nașterii	Titlul științific	Funcția în cadrul proiectului	Semnătura
1.	Cocemasov Alexandr	1987	doctor în științe fizice	c. ș. superior	
2.	Isacova Calina	1983	fără grad	c. ș.	
3.	Crîșmari Dmitrii	1984	fără grad	c. ș.	
4.	Nica Xenia	1995	masterandă	c. ș. stagiar	
5.	Ciopcic Irina	1998	studentă	tehnician	

Lista tinerilor cercetători:

Nr d/o	Numele/Prenumele	Anul nașterii	Titlul științific	Funcția în cadrul proiectului
1.	Cocemasov Alexandr	1987	doctor în științe fizice	c. ș. superior
2.	Isacova Calina	1983	fără grad	c. ș.
3.	Crîșmari Dmitrii	1984	fără grad	c. ș.
4.	Nica Xenia	1995	masterandă	c. ș. stagiar

Conducătorul proiectului COCEMASOV Alexandr, dr. conf. cerc.

(nume, prenume, grad, titlu științific)

\_\_\_\_\_ (semnătura)



### 13. LISTA LUCRĂRILOR PUBLICATE

#### Articole din reviste naționale: 1

##### - categoria B

1. КОЧЕМАСОВ, А.; БОРИС, Ю.; ТАРАКАНОВА, Л.; НИКА, Д. Фононные свойства кремниевых нанослоев. *Studia Universitatis Moldaviae. Seria Științe Exacte și Economice*. 2019, 7(127), 3-11. ISSN 1857-2073

#### Rapoarte publicate/Teze ale comunicărilor la congrese, conferințe, simpozioane, în culegeri (naționale / internaționale): 2

1. КОЧЕМАСОВ, А.; НИКА, Д. Подавление фононного транспорта в кристалл/аморфных Si/SiO<sub>2</sub> сверхрешетках. *Conferința științifică națională cu participare internațională "Integrare prin cercetare și inovare"*. Chișinău. 2019, pp. 247-250. ISBN 978-9975-149-47-1
2. COCEMASOV, A.; NIKA, D. Phonon thermal transport suppression in Si/SiO<sub>2</sub> crystalline/amorphous superlattices. *Eighteenth Young Researchers Conference - Materials Science and Engineering*. 2019, Belgrade, Serbia. p. 45. ISBN 978-86-80321-35-6

Conducătorul proiectului COCEMASOV Alexandr, dr. conf. cerc.

(nume, prenume, grad, titlu științific)

\_\_\_\_\_ (semnătura)

#### 14. PARTICIPĂRI LA MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE NAȚIONALE/INTERNAȚIONALE

1. Alexandr Cocemasov, Conferința științifică națională cu participare internațională ”*Integrare prin cercetare și inovare*”, 7-8 noiembrie 2019, Chișinău. Comunicare orală cu titlul: ”Поддавление фононного транспорта в кристалл/аморфных Si/SiO<sub>2</sub> сверхрешетках”.
2. Alexandr Cocemasov, Conferința internațională ”*Eighteenth Young Researchers Conference - Materials Science and Engineering*”, 4-8 decembrie 2019, Belgrad, Serbia. Comunicare orală cu titlul: ”Phonon thermal transport suppression in Si/SiO<sub>2</sub> crystalline/amorphous superlattices”.

Conducătorul proiectului COCEMASOV Alexandr, dr. conf. cerc.

(nume, prenume, grad, titlu științific)

\_\_\_\_\_ (semnătura)