

## **Сведения об официальных оппонентах и ведущей организации**

по диссертации Пермяковой Инги Евгеньевны на тему «Эволюция структуры, свойства аморфных сплавов и аморфно-нанокристаллических композитных материалов при внешних воздействиях», представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния

### **Официальные оппоненты:**

**Хоник Виталий Александрович**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой общей физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный педагогический университет» (ФГБОУ ВО «ВГПУ»)

Шифра и наименование специальности, по которой защищена диссертация: 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»

Почтовый адрес: 394043 Воронежская обл., г. Воронеж, ул. Ленина, д. 86.

Тел.: +7(473)255-47-22

E-mail: [v.a.khonik@yandex.ru](mailto:v.a.khonik@yandex.ru)

Основные работы, наиболее близко относящиеся к теме оппонируемой диссертации:

1. Makarov A., Kretova M., Afonin G., Kobelev N., Khonik V. Components of the shear modulus and their dependence on temperature and plastic deformation of a metallic glass. // *Metals*. 2022. V. 12. N. 11. Art.No. 1964.

2. Afonin G.V., Qiao J.C., Aronin A.S., Kobelev N.P., Khonik V.A. Experimental determination of higher order elastic moduli of metallic glasses. // *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2022. V. 580. Art.No. 121406.

3. Makarov A.S., Afonin G.V., Aronin A.S., Kobelev N.P., Khonik V.A. Thermodynamic approach for the understanding of the kinetics of heat effects induced by structural relaxation of metallic glasses. // *Journal of Physics: Condensed Matter*. 2022. V. 34. Art.No. 125701.

4. Макаров А.С., Кретова М.А., Афонин Г.В., Цзяо Ц.Ч., Глезер А.М., Кобелев Н.П., Хоник В.А. О природе избыточной внутренней энергии и энтропии металлических стекол. // *Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики*. 2022. Т. 115. Вып. 2. С. 110-116.

5. Sundeev R.V., Shalimova A.V., Krivoruchko A.V., Glezer A.M., Veligzhanin A.A., Khonik V.A. Comparative analysis of the crystallization mechanisms and kinetics in the  $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$  alloy amorphized by melt quenching or severe plastic deformation. // *Intermetallics*. 2022. V. 141. Art.No. 107372.

6. Cheng Yi-Ting, Makarov A.S., Afonin G.V., Khonik V.A., Ji-Chao Q. Evolution of defect concentration in  $Zr_{50x}Cu_{34}Ag_8Al_8Pd_x$  ( $x = 0.2$ ) amorphous alloys derived using shear modulus and calorimetric data. // *Acta Physica Sinica*. 2021. V. 70. Art.No. 146401.

7. Макаров А.С., Гончарова Е.В., Цзяо Ц.Ч., Кобелев Н.П., Хоник В.А. Расчёт фрагильности высокоэнтропийных объемных аморфных сплавов на основе данных по релаксации сдвиговой

упругости. // Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики. 2021. Т. 113. Вып. 11. С. 751-756.

8. Афонин Г.В., Митрофанов Ю.П., Кобелев Н.П., Хоник В.А. Релаксация модуля сдвига и тепловые эффекты в металлическом стекле  $Zr_{65}Cu_{15}Ni_{10}Al_{10}$  после неоднородной пластической деформации. // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2020. Т. 158. Вып. 4 (10). С. 664-671.

9. Duan Y.J., Qiao J.C., Crespo D., Goncharova E.V., Makarov A.S., Afonin G.V., Khonik V.A. Link between shear modulus and enthalpy changes of  $Ti_{16.7}Zr_{16.7}Hf_{16.7}Cu_{16.7}Ni_{16.7}Be_{16.7}$  high entropy bulk metallic glass. // Journal of Alloys and Compounds. 2020. V. 830. Art.No. 154564.

10. Makarov A.S., Mitrofanov Yu.P., Konchakov R.A., Kobelev N.P., Csach K., Qiao J.C., Khonik V.A. Density and shear modulus changes occurring upon structural relaxation and crystallization of Zr-based bulk metallic glasses: in situ measurements and their interpretation. // Journal of Non-Crystalline Solids. 2019. V. 521. P. 119474.

11. Khonik V., Kobelev N. Metallic glasses: a new approach to the understanding of the defect structure and physical properties. // Metals. 2019. V. 9. N 5. Art.No. 605. P. 1-21.

12. Afonin G.V., Mitrofanov Yu.P., Kobelev N.P., Pinto M.W. da Silva, Wilde G., Khonik V.A. Relationship between the enthalpies of structural relaxation, crystallization and melting in metallic glass-forming systems. // Scripta Materialia. 2019. V. 166. P. 6-9.

13. Makarov A.S., Afonin G.V., Mitrofanov Yu.P., Konchakov R.A., Kobelev N.P., Qiao J.C., Khonik V.A. Relationship between the heat effects and shear modulus changes occurring upon heating of a metallic glass into the supercooled liquid state. // Journal of Non-Crystalline Solids. 2018. V. 500. P. 129-132.

14. Mitrofanov Yu.P., Afonin G.V., Makarov A.S., Kobelev N.P., Khonik V.A. A new understanding of the sub-T<sub>g</sub> enthalpy relaxation in metallic glasses. // Intermetallics. 2018. V. 101. P. 116-122.

15. Mitrofanov Yu.P., Kobelev N.P., Khonik V.A. Different metastable equilibrium states in metallic glasses occurring far below and near the glass transition. // Journal of Non-Crystalline Solids. 2018. V. 497. P. 48-55.

**Страумал Борис Борисович**, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией поверхностей раздела в металлах, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук (ФГБУН ИФТТ РАН)

Шифра и наименование специальности, по которой защищена диссертация: 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»

Почтовый адрес: 142432 Московская обл., г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, д. 2.

Тел.: +7(496)5228300

E-mail: [straumal@issp.ac.ru](mailto:straumal@issp.ac.ru)

Основные работы, наиболее близко относящиеся к теме оппонируемой диссертации:

1. Straumal B.B., Kulagin R., Baretzky B., Kogtenkova O.A., Klinger L., Rabkin E., Straumal P.B. Structure refinement and fragmentation of precipitates under severe plastic deformation: A review // *Materials*. 2022. V. 15. N 2. Art.No. 601.
2. Straumal B.B., Kulagin R., Baretzky B., Anisimova N.Yu., Kiselevskiy M.V., Kogtenkova O.A., Klinger L., Straumal P.B., Valiev R.Z. Severe plastic deformation and phase transformations in high entropy alloys: A review. // *Crystals*. 2022. V. 12. N 1. Art.No. 54.
3. Edalati K., Horita Z., Bachmaier A., Pippan R., Renk O., Beloshenko V.A., Beygelzimer Y., Blank V.D., Botta W.J., Leiva D.R., Bryła K., Čížek J., Divinski S., Wilde G., Enikeev N.A., Valiev R.Z., Estrin Y., Faraji G., Figueiredo R.B., Fuji M. et al. Nanomaterials by severe plastic deformation: review of historical developments and recent advances // *Materials Research Letters*. 2022. V. 10. N 4. P. 163-256.
4. Straumal B.B., Straumal A.B., Vershinin N., Gornakova A.S., Klinger L., Kuzmin A., Lopez G.A., Korneva A. High entropy alloys coatings deposited by laser cladding: a review of grain boundary wetting phenomena // *Coatings*. 2022. V. 12. N 3. Art.No. 343.
5. Korneva A., Straumal B., Kilmametov A., Lityńska-Dobrzyńska L., Chulist R., Gondek Ł., Zięba P. The phase transformations induced by high-pressure torsion in Ti-Nb based alloys // *Microscopy and Microanalysis*. 2022. Vol. 28. P. 946-952.
6. Gornakova A.S., Straumal B.B., Mazilkin A.A., Afonikova N.S., Karpov M.I., Novikova E.A., Tyurin A.I. Phase composition, nanohardness and young's modulus in Ti-Fe alloys after heat treatment and high pressure torsion // *Metals*. 2021. V. 11. N. 10. Art.No. 1657.
7. Druzhinin A.V., Straumal B.B., Lorenzin G., Siol S., Janczak-Rusch J., Jeurgens L.P.H., Cancellieri C., Ariosa D. The effect of the graded bilayer design on the strain depth profiles and microstructure of Cu/W nano-multilayers // *Materials & Design*. 2021. V. 209. P. 110002.
8. Druzhinin A.V., Rheingans B., Siol S., Janczak-Rusch J., Jeurgens L.P.H., Cancellieri C., Straumal B.B. Effect of internal stress on short-circuit diffusion in thin films and nanolaminates: application to Cu/W nano-multilayers // *Applied Surface Science*. 2020. V. 508. P. 145254.
9. Разумов И.К., Ермаков А.Е., Горностырев Ю.Н., Страумал Б.Б. Неравновесные фазовые превращения в сплавах при интенсивной пластической деформации // *Успехи физических наук*. 2020. Т. 190. № 8. С. 785-810.
10. Страумал Б.Б., Мазилкин А.А., Протасова С.Г., Кильмаметов А.Р., Дружинин А.В., Барецки Б. Фазовые превращения в сплавах на основе Nd-Fe-B при кручении под высоким давлением при разных температурах // *Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики*. 2020. Т. 112. № 1-2 (7). С. 45-53.

11. Straumal B., Gornakova A., Mazilkin A., Kilmametov A., Baretzky B., Korneva A., Zieba P. Diffusive and displacive phase transformations in nanocomposites under high pressure torsion // Archives of Metallurgy and Materials. 2019. V. 64. N 2. P. 457-465.
12. Gornakova A.S., Straumal A.B., Gnesin I.B., Mazilkin A.A., Afonikova N.S., Straumal B.B., Khodos I.I. Effect of composition, annealing temperature, and high pressure torsion on structure and hardness of Ti-V and Ti-V-Al alloys // Journal of Applied Physics. 2019. V. 125. N 8. Art.No. 082522.
13. Mazilkin A., Straumal B., Kilmametov A., Baretzky B., Straumal P. Phase transformations induced by severe plastic deformation // Materials Transactions. 2019. V. 60. N 8. P. 1489-1499.
14. Straumal B.B., Kogtenkova O.A., Straumal A.B., Baretzky B. Grain boundary wetting-related phase transformations in Al and Cu-based alloys. Review // Letters on Materials. 2018. V. 8. № 3 (31). P. 364-371.
15. Kilmametov A.R., Ivanisenko Y., Straumal B.B., Andrey A., Hahn H., Gornakova A.S. The  $\alpha \rightarrow \omega$  transformation in titanium-cobalt alloys under high-pressure torsion // Metals. 2018. V. 8. N 1. P. 2-12.

**Гундеров Дмитрий Валерьевич**, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физики твёрдого тела, Институт физики молекул и кристаллов – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИФМК УФИЦ РАН)

Почтовый адрес: 450075 Республика Башкортостан, г. Уфа, Проспект Октября, д. 151.

Тел.: +7(906)372-70-79 // +7(927)635-37-44

E-mail: [dimagun@mail.ru](mailto:dimagun@mail.ru)

Основные работы, наиболее близко относящиеся к теме оппонируемой диссертации:

1. Astanin V., Gunderov D., Titov V., Asfandiyarov R. The influence of high-pressure torsion on the free volume and shear-band formation during the indentation of Vit105 metallic glass. // Metals. 2022. V. 12. N. 8. Art.No. 1278.
2. Danilenko V.N., Kiekkuzhina L.U., Parkhimovich N.Yu., Gunderov D.V. Effect of annealing on the structure and phase composition of Cu-Al composite produced by conventional and accumulative HPT // Письма о материалах. 2022. Т. 12. № 4 (48). С. 276-281.
3. Титов В.В., Гундеров Д.В., Гундерова С.Д., Шарафутдинов А.В., Астанин В.В. Распределение полос сдвига на поверхности деформированных образцов аморфных сплавов на основе Zr // Materials. Technologies. Design. 2022. V. 4. № 1 (7). P. 64-72.
4. Астанин В.В., Гундеров Д.В., Титов В.В. Распределение микротвердости по поверхности металлического стекла на основе циркония, подвергнутого интенсивной пластической деформации кручением // Frontier Materials & Technologies. 2022. № 3-1. P. 33-40.

5. Jain A., Prabhu Y., Bhatt J., Gunderov D., Ubyivovk E.V. Study of micro indentation assisted deformation on HPT processed  $Zr_{62}Cu_{22}Al_{10}Fe_5Dy_1$  bulk metallic glass // *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2021. V. 566. Art.No. 120877.
6. Danilenko V.N., Kiekkuzhina L.U., Parkhimovich N.Y., Khafizova E.D., Gunderov D.V. Cu-Al metal matrix composite fabricated by accumulative HPT // *Materials Letters*. 2021. V. 300. Art.No. 130240.
7. Ren Z.Q., Wang X., Goel S., Liu S.N., You Z.S., Liu Y., Lan S., Wang J.T., Churakova A.A., Gunderov D.V., Valiev R.Z. Enhanced tensile strength and ductility of bulk metallic glasses  $Zr_{52.5}Cu_{17.9}Al_{10}Ni_{14.6}Ti_5$  via high-pressure torsion // *Materials Science and Engineering: A*. 2021. V. 803. Art.No. 140485.
8. Mu X., Chellali M.R., Boltynjuk E., Hahn H., Kübel C., Ivanisenko Y., Velasco L., Valiev R.Z., Gunderov D. Unveiling the local atomic arrangements in the shear band regions of metallic glass // *Advanced Materials*. 2021. V. 33. N 12. Art.No. 2007267.
9. Кодиров И.С., Рааб Г.И., Алешин Г.Н., Рааб А.Г., Гундеров Д.В., Ценев Н.К. Получение градиентных структур в металлах методами интенсивной пластической деформации // *Известия Российской академии наук. Серия физическая*. 2020. Т. 84. № 5. С. 619-622.
10. Gunderov D., Boltynjuk E., Ubyivovk E., Churakova A., Valiev R., Kilmametov A. Consolidation of the amorphous  $Zr_{50}Cu_{50}$  ribbons by high-pressure torsion // *Advanced Engineering Materials*. 2020. V. 22. № 10. Art.No. 1900694.
11. Gunderov D., Astanin V. Influence of HPT deformation on the structure and properties of amorphous alloys // *Metals*. 2020. V. 10. N 3. Art.No. 415.
12. Gunderov D.V., Churakova A.A., Boltynjuk E.V., Ubyivovk E.V., Valiev R.Z., Astanin V.V., Asfandiyarov R.N., Xioang W., Wang J.T. Observation of shear bands in the Vitreloy metallic glass subjected to HPT processing // *Journal of Alloys and Compounds*. 2019. V. 800. P. 58-63.
13. Glezer A.M., Khriplivets I.A., Bazlov A.I., Pogozhev Y.S., Louzguine-Luzgin D.V., Sundeev R.V., Gunderov D.V. Effect of high-pressure torsion on the tendency to plastic flow in bulk amorphous alloys based on Zr // *Materials Letters*. 2019. V. 256. Art.No. 126631.
14. Gunderov D.V., Boltynjuk E.V., Ubyivovk E.V., Churakova A.A., Valiev R.Z., Lukyanov A.V., Kilmametov A.R., Zamula Y.S. Cluster structure in amorphous Ti-Ni-Cu alloys subjected to high-pressure torsion deformation // *Journal of Alloys and Compounds*. 2018. V. 749. P. 612-619.
15. Boltynjuk E., Ubyivovk E., Gunderov D., Mikhalovskii V., Valiev R. Multiple shear bands in Zr-based bulk metallic glass processed by severe plastic deformation // *Diffusion and Defect Data. Pt A Defect and Diffusion Forum*. 2018. V. 385. P. 319-324.

## Ведущая организация:

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ МИСИС)**

Ведомственная принадлежность: Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Ректор: Черникова Алевтина Анатольевна, доктор экономических наук, профессор

Проректор по науке и инновациям: Филонов Михаил Рудольфович, доктор технических наук, профессор

Почтовый адрес: 119049 г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, стр. 1.

Веб-сайт: <https://misis.ru>

Тел.: +7(499)237-22-25

E-mail: [kancela@misis.ru](mailto:kancela@misis.ru)

Основные работы, наиболее близко относящиеся к теме оппонируемой диссертации:

1. Rozhnov A.B., Kraynev A.V., Rogachev S.O., Nikulin S.A., Zadorozhnyy M.Y., Pantsyrny V.I., Khlebova N.E., Polikarpova M.V. Low-cycle bending fatigue and electrical conductivity of high-strength Cu/Nb nanocomposite wires // International Journal of Fatigue. 2019. V. 128. Art.No. 105188.

2. Khatkevich V.M., Rogachev S.O., Nikulin S.A., Tokmakova E.N. Structure and mechanical properties of a layered composite based on Fe-Cr-V alloy and high-nitrogen high-chromium steel after hot pressing and annealing // Metals and Materials International. 2022. V. 28. N 2. P. 534-544.

3. Рогачев С.О., Наумова Е.А., Комиссаров А.А., Васина М.А., Павлов М.Д., Токарь А.А. Влияние лазерной модификации поверхности на структуру и механические свойства эвтектических алюминиевых сплавов Al-8%Ca, Al-10%La, Al-10%Ce и Al-6%Ni // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2022. Т. 28. № 6. С. 58-70.

4. Rogachev S.O., Khatkevich V.M., Nikulin S.A., Ignateva M.V., Gromov A.A. High thermally stable multi-layer steel/vanadium alloy hybrid material obtained by high-pressure torsion // Materials Letters. 2019. V. 255. Art.No. 126527.

5. Rogachev S.O., Nikulin S.A., Rozhnov A.B., Gorshenkov M.V. Microstructure, phase composition, and thermal stability of two zirconium alloys subjected to high-pressure torsion at different temperatures // Advanced Engineering Materials. 2018. V. 20. N 9. Art.No. 1800151.

6. Кудря А.В., Соколовская Э.А., Танг В.Ф. Возможность прогноза разрушения металлических материалов с неоднородной структурой // Деформация и разрушение материалов. 2022. № 6. С. 2-19.

7. Glezer A.M., Khriplivets I.A., Pogozhev Y.S., Rogachev S.O., Bazlov A.I., Sundeev R.V., Louzguine-Luzgin D.V., Tomchuk A.A. Quantitative characteristics of shear bands formed upon deformation in bulk amorphous Zr-based alloy // *Materials Letters*. 2020. V. 281. Art.No. 128659.

8. Беломытцев М.Ю., Фунг Туан Ань Жаропрочность композиционного материала с сотовой структурой на основе интерметаллида  $\text{Ni}_3\text{Al}$  // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2019. Т. 62. № 3. С. 228-234.

9. Sundeev R.V., Shalimova A.V., Rogachev S.O., Chernogorova O.P., Glezer A.M., Ovcharov A.V., Karateev I.A. Role of structural changes in the composite consolidation from dissimilar layers upon high-pressure torsion // *Materials Letters*. 2023. V. 331. Art.No. 133513.

10. Stepashkin A.A., Ozherelkov D.Yu., Sazonov Yu.B., Komissarov A.A., Mozalev V.V. Change in Interlayer Strength and Fracture Toughness of Carbon-Carbon Composite Material under the Impact of Cyclic Loads // *Inorganic Materials: Applied Research*. 2019. V. 10. N. 1. P. 155–161

11. Sheveyko A.N., Kuptsov K.A., Antonyuk M.N., Bazlov A.I., Shtansky D.V. Electro-spark deposition of amorphous Fe-based coatings in vacuum and in argon controlled by surface wettability // *Materials Letters*. 2022. V. 318. Art.No. 132195.

12. Shchetinin I., Aggrey P., Bordyuzhin I., Savchenko A., Gorshenkov M., Zhelezniy M., Menushenkov V., Mogil'nikov P. Phase formation and magnetic properties of melt spun and annealed Nd-Fe-B based alloys with Ga additions // *Metals*. 2019. V. 9. N 5. Art.No. 497.

13. Zanaeva E.N., Milkova D.A., Bazlov A.I., Tabachkova N.Y., Churyumov A.Y., Inoue A., Ubyivovk E.V. Crystallization and its kinetics of soft magnetic  $(\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x)_{79}\text{B}_{12}\text{P}_5\text{Si}_3\text{C}_1$  glassy alloy ribbons // *Journal of Alloys and Compounds*. 2021. V. 888. Art.No. 161475.

14. Liu C., Inoue A., Zhu S.L., Kong F.L., Zanaeva E., Bazlov A., Churyumov A., Marzouki F.A., Shull R.D. Fe-B-Si-C-Cu amorphous and nanocrystalline alloys with ultrahigh hardness and enhanced soft magnetic properties // *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2021. V. 554. Art.No. 120606.

15. Murugaiyan P., Mitra A., Patro A.K., Roy R.K., Panda A.K., Churyukanova M., Kaloshkin S., Shuvaeva E. Role of P on amorphization, microstructure, thermo-physical and soft magnetic properties of Fe-rich  $\text{FeB(P)SiNbCu}$  melt-spun alloys // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2019. V. 492. Art.No. 165723.