

XXVI Международная конференция
Взаимодействие ионов с поверхностью «ВИП-2023»

XXVI International Conference
Ion-Surface Interactions «ISI-2023»

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ЯРОСЛАВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЯРОСЛАВСКИЙ ФИЛИАЛ ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА РАН
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Взаимодействие ионов с поверхностью

ВИП-2023

Труды
XXVI Международной конференции

21 - 25 августа 2023 г.
Ярославль, Россия

Редакторы:

Е.Ю. Зыкова

Московский Государственный Университет

П.А. Карасев

Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет

А.И. Титов

Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет

Том 1

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Russian Academy of Sciences
Yaroslavl State University
Yaroslavl branch of Institute of Physics and Technology RAS
National Research Nuclear University MEPhI
Moscow State University
St. Petersburg State Polytechnic University

Ion-Surface Interactions

ISI–2023

Proceedings
of the XXVI International Conference

August 21–25, 2023
Yaroslavl, Russia

Editors

E.Yu. Zykova

Moscow State University

P.A. Karaseov

St. Petersburg State Polytechnic University

A.I. Titov

St. Petersburg State Polytechnic University

Volume 1

ВВЕДЕНИЕ

XXVI Международная конференция «Взаимодействие ионов с поверхностью» (ВИП-25) проводится в Ярославле с 21 по 25 августа 2023 года в Ярославском государственном университете им. П.Г. Демидова.

Тематика традиционно охватывает фундаментальные и прикладные вопросы взаимодействия ионов с поверхностью.

Доклады объединены в 6 секций, работающих последовательно:

1. Распыление, структура поверхности, десорбция;
2. Рассеяние и эмиссия ионов, электронов, фотонов и рентгеновских лучей при ионной бомбардировке;
3. Имплантация ионов и модификация поверхности;
4. Ионно-индуцированные процессы в тонких пленках и наноструктурах;
5. Взаимодействие плазмы с поверхностью – физика и технология.
6. Ионное облучение в биологии и медицине.

В рамках секций помимо регулярных устных и стендовых докладов будут представлены обзорные лекции, посвященные передовым результатам научных исследований в области взаимодействия ионов с поверхностью и в некоторых смежных областях знаний. Заседания пройдут в смешанном очном и дистанционном форматах.

Организаторами конференции ВИП-26 являются Министерство науки и высшего образования РФ, Российская Академия Наук, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Ярославский государственный университет, Ярославский филиал физико-технологического института РАН, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Московский государственный университет, Санкт-Петербургский политехнический университет.

Конференция «Взаимодействие ионов с поверхностью» является одной из ведущих в своей области науки. Впервые она прошла в 1971 году в Харькове по инициативе профессора Я.М.Фогеля; далее конференции проводились в Москве, Киеве, Минске, Звенигороде, Ярославле. На протяжении всего времени конференция ВИП сохранялась и бережно поддерживалась её организаторами, в том числе теми, кто стоял у её истоков. К ним в первую очередь относятся: Ю.А. Рыжов, В.Е. Юрасова, Я.М. Фогель, О.Б. Фирсов, Б.Б. Кадомцев, В.Т.Черепин, В.А.Лабунов, В.Г.Тельковский, И.И.Шкарбан, В.А.Курнаев, А.И.Титов и др.

Интерес к конференции ВИП не уменьшается из года в год, традиционно сохраняется участие ведущих зарубежных ученых. В адрес Оргкомитета в этом году поступило более 130 расширенных тезисов научных докладов из 11-ти стран мира, которые опубликованы в настоящих трудах конференции. Отмечается большое число молодых участников, многие из которых выступят с устными докладами.

После завершения конференции предполагается публикация материалов представленных докладов в виде статей в журналах "Поверхность", "Известия РАН, серия физическая". Статьи для публикации будут отобраны и распределены по журналам Программным комитетом после рецензирования во время работы конференции.

От лица организаторов конференции выражаю глубокую благодарность российским и иностранным членам Организационного и Программного комитетов и Международного совета за большую помощь в организации конференций.

В свободное от работы конференции время будут организованы пешие экскурсии по городу и экскурсии в Толгский монастырь или в Ростов Великий.

Организаторы ВИП-26 надеются, что дружественное общение участников в ходе работы конференции будет способствовать её успеху и дальнейшему сотрудничеству учёных.

Ю.М. Гаспарян, председатель Программного комитета ВИП-26

INTRODUCTION

The 26th International Conference on Ion-Surface Interactions (ISI-26) will be held from 21st to 25th of August 2023, in the P.G. Demidov Yaroslavl State University.

The Conference covers both basic and applied issues of ion-surface interaction in its six sections:

1. Sputtering, surface structure, desorption;
2. Ion scattering, emission of ions, electrons, photons, and X-rays under ion-surface interaction;
3. Ion implantation, surface modification and surface analysis;
4. Ion-induced processes in thin films and nanostructures;
5. Plasma- surface interaction: physics and technology;
6. Ion irradiation in biology and medicine.

In the frame of each section, regular oral and poster presentation together with review talks will be presented. The conference will be held in a hybrid (in person and online) format.

The ISI-26 is organized by the Ministry of Science and Higher Education of the RF, the Russian Academy of Sciences, National Research Centre “Kurchatov Institute”, Yaroslavl State University, and Yaroslavl branch of Institute of Physics and Technology RAS, National research nuclear university MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow State University, and St. Petersburg State Polytechnic University.

The ISI Conference is one of the leading in the field of ion-surface interaction. It was organized for the first time in Kharkov in 1971 on the initiative of Prof. Ya.M. Fogel. Later it was held at Moscow, Kiev, Minsk, Zvenigorod, Yaroslavl. For a long time, the ISI conference is carefully supported by her organizers, including those who stood at its origins: Yu.A. Ryzhov, V.E. Yurasova, B.B.Kadomtsev, V.T.Cherepin, V.A.Labunov, V.G.Telkovsky, I.I.Shkarban, V.A.Kurnaev, A.I.Titov and others.

The popularity of the ISI conference stays at the high level for many years, and leading experts in the field from many countries traditionally attend it. This time, the Organizing Committee received more than 130 extended abstracts from 11 countries. The materials are published in this Conference Proceedings. There are many new participants from different regions of Russia, and many of them are young people. A number of young participants will have a chance to present their results as oral or invited talks.

On behalf of the organizers of the conference, I would like to express my deep gratitude to foreign members of the Organizing and Program Committees and the International Advisory board for their great help in organizing the conferences.

After the conference, selected papers of the Conference will be published as special issues of the “Bulletin of the Russian Academy of Sciences, Physics” and “Journal of Surface Investigation”.

Guided walking tours around the city, as well as excursions to the Tolgsky monastery or Rostov the Great will be organized in the time free of scientific sections.

The organizing committee hope that this conference will be just as interesting as the previous ones and friendly communication between participants will bring lively discussions and many new useful connections.

Yury Gasparyan,
Chair of ISI-26 Programme committee



Участники конференции ВИП-25 в Ярославле, Волжская набережная, у памятника Н.А.Некрасову, 23.08.2021.
Participants of ISI-25 in Yaroslavl, Volga embankment, nearby poet N.A.Nekrasov monument, 23.08.2021

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

А.И. Русаков	– председатель
В.И. Бачурин	– сопредседатель
В.Е. Юрасова	– почетный председатель
А.И. Титов, А.С. Рудый	– заместители председателя
О.С. Трушин	– ученый секретарь

Члены оргкомитета:

П.Ю. Бабенко
Л.Б. Беграмбеков
А.М. Борисов
Ю.М. Гаспарян
Е.Ю. Зыкова
П.А. Карасёв
Д.С. Коллигон
В.Ф. Лукичев
Г.Е. Ремнёв

ЛОКАЛЬНЫЙ ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

В.И. Бачурин	– <i>председатель</i>
А.Л. Мазалецкая, А.Б. Чурилов	– <i>зам. председателя</i>

Члены локального оргкомитета:

И.И. Амиров
Т.В. Воронина
А.В. Егорова
Ю.С. Егорова
И.А. Кузнецова
А.Н. Куприянов
М.Е. Лебедев
А.В. Новожилова
М.А. Смирнова

ORGANISING COMMITTEE

A. Rusakov	– <i>Chair</i>
V. Bachurin	– <i>Co-chair</i>
V. Yurasova	– <i>Honorary Chair</i>
A. Titov, A. Rudy	– <i>Vice chairs</i>
O. Trushin	– <i>Scientific secretary</i>

Members of organizing committee

P. Babenko
L. Begrambekov
A. Borisov
J. Colligon
Yu. Gasparyan
P. Karaseov
V. Lukichev
G. Remnev
E. Zykova

LOCAL ORGANISING COMMITTEE

V. Bachurin	– <i>Chair</i>
A. Churilov, A. Mazaletskaya	– <i>Vice chairs</i>

Members:

I. Amirov
A. Egorova
Yu. Egorova
A. Kupriyanov
I. Kuznetsova
M. Lebedev
A. Novozhilova
M. Smirnova
T. Voronina

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Ю.М. Гаспарян – *председатель*
В.Е. Юрасова – *сопредседатель*

Члены программного комитета:

Д. Авасти (Индия)
Д. Гогова (Болгария)
Г. Ду (Китай)
Ф. Джурабекова (Финляндия)
А.Н. Зиновьев (Россия)
К. Лоренц (Португалия)
Ю.В. Мартыненко (Россия)
А.Н. Михайлов (Россия)
К. Монтанари (Аргентина)
С. Петрович (Сербия)
А.А. Писарев (Россия)
В.Н. Попок (Дания)
Д.И. Тетельбаум (Россия)
И. Л. Тажибаева (Казахстан)
А. И. Титов (Россия)
К. Токеши (Венгрия)
Ф.Ф. Умаров (Казахстан)
Н.Н. Черенда (Белоруссия)
В.С. Черныш (Россия)

PROGRAM COMMITTEE

Yu. Gasparyan – *Chair*

V. Yurasova – *Co-chair*

Members of programme committee

K. Avasthy (India)

N. Cherenda (Belarus)

V. Chernysh (Russia)

D. Gogova (Bulgaria)

F. Djurabekova (Finland)

G. Du (China)

K. Lorenz (Portugal)

Yu. Martynenko (Russia)

A. Mikhailov (Russia)

C. Montanari (Argentina)

S. Petrovich (Serbia)

A. Pisarev (Russia)

V. Popok (Denmark)

D. Tetelbaum (Russia)

A. Titov (Russia)

K. Tokesi (Hungary)

F. Umarov (Kazakhstan)

A. Zinovyev (Russia)

M. Ćosić and M. Hadžijojić

Laboratory of Physics, Vinča Institute of Nuclear Sciences - National Institute of the Republic of Serbia, University of Belgrade, P.O. Box 522, 11001 Belgrade, Serbia, e-mail: mcosic@vinca.rs

Abstract: The main goal of our analysis is to show that the shape of the angular distributions can be used to study 2D materials. For this kind of systems, angular distributions contain lines along which large yield dominantly determine their shape. We focus on the relationship between the reduced interaction potential and the shape of the rainbow pattern. Metamorphoses of the rainbow pattern in the impact parameter plane were investigated and attributed to the bifurcations of the critical points of the rainbow line curvature. It will be shown that the impact parameter rainbow vertices are connected with the corresponding cusps of rainbows in the scattering angle plane, and their bifurcations will be analyzed in detail.

The transverse plane of the Cartesian coordinate system was attached to the graphene plane. The beam direction is specified by polar and azimuthal angles θ , and Φ . The proton-carbon interaction potential was obtained by thermally averaging Doyle-Turner's potential [1]. The following expression gives the resulting interaction potential in atomic units

$$V_{th}(\boldsymbol{\rho}) = \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \sum_{k=1}^4 \frac{\alpha_k}{\sqrt{|\det \boldsymbol{\Omega}_k|}} \exp \left[-\frac{1}{2} \boldsymbol{\rho}^T \cdot \boldsymbol{\Sigma}^{-1} \cdot \boldsymbol{\rho} \right], \quad (1)$$

where $\boldsymbol{\rho}$ is the ion-carbon separation vector, α_k and β_k , ($k = 1, \dots, 4$) are carbon's fitting parameters, $\boldsymbol{\Omega}_k = \beta_k / 16\pi^2 + \frac{1}{2}\boldsymbol{\Sigma}$, while $\boldsymbol{\Sigma}$ is a covariance matrix of atom thermal displacements [2]. The ion-graphene interaction potential energy is given by the following sum

$$U(\mathbf{r}) = \sum_n V_{th}(\mathbf{r} - \mathbf{R}_n), \quad (2)$$

ranging over all atoms contributing significantly to the scattering process. Note that potential $U(\mathbf{r})$ is negligible outside an interval $z \leq |z_m|$ called the interaction interval. Planes at $z = \pm z_m$ are called the impact parameter plane and the exit plane, respectively.

The scattering of the classical particles is described by Newton's equations that read

$$m_i \frac{d}{dt} \mathbf{v} = -\nabla U(\mathbf{r}), \quad (3)$$

where m_p is proton mass, $\mathbf{v} = (v_x, v_y, v_z)$ is its velocity vector, and t is the time. For parallel, monochromatic proton beam of kinetic energy E_k , the appropriate initial conditions for solving Eq. (3) are $\mathbf{r}(0) = (b_x, b_y, -z_m)$, $\mathbf{v}(0) = \sqrt{2E_k/m_p} (\sin \theta \cos \Phi, \sin \theta \sin \Phi, \cos \theta)$, with uniform distribution of impact parameters $\mathbf{b} = (b_x, b_y)$. In the exit plane, scattering angles are given by relations $\tan \theta_x = v_x/v_z$, and $\tan \theta_y = v_y/v_z$. The differential cross-section $\sigma_{\text{diff}}(\boldsymbol{\theta}; \boldsymbol{\theta}, \Phi)$ is given by the relation [2]

$$\sigma_{\text{diff}}(\mathbf{b}; \boldsymbol{\theta}, \Phi) = \frac{\{1 - \sin^2 \theta_x(\mathbf{b}) \sin^2 \theta_y(\mathbf{b})\}^{3/2}}{\cos \theta_x(\mathbf{b}) \cos \theta_y(\mathbf{b})} \frac{1}{|\det \mathbf{J}(\mathbf{b}; \boldsymbol{\theta}, \Phi)|}, \quad (4)$$

where $\mathbf{J}(\mathbf{b}; \boldsymbol{\theta}, \Phi)$ is the Jacobian of map $\mathbf{b} \rightarrow \boldsymbol{\theta}$. Note that σ_{diff} is infinite along lines satisfying the following equation

$$\det \mathbf{J}(\mathbf{b}; \boldsymbol{\theta}, \Phi) = 0, \quad (5)$$

called impact parameter rainbows. Their images in the exit plane are called angular rainbows.

When E_k is sufficiently large, the momentum approximation gives an excellent approximation of the scattering process. In the coordinate system attached to the proton beam, the closed form of the scattering law is given by the following expression

$$\boldsymbol{\theta} = -\frac{1}{2E_k} \nabla_{\mathbf{b}} \varphi(\mathbf{b}), \quad (6)$$

where $\nabla_{\mathbf{b}}$ is the transverse gradient, while $\varphi(\mathbf{b})$ is the reduced potential defined by the following integral

$$\varphi(\mathbf{b}) = \int_{-\infty}^{\infty} U(\mathbf{b}, z) dz. \quad (7)$$

The rainbow condition (5) reduces to

$$\det \mathbf{H}_\varphi(\mathbf{b}) = 0, \quad (8)$$

where \mathbf{H}_φ is a Hessian matrix of the reduced potential.

Figures 1(a) and (b) show calculated angular distributions of transmitted protons for $\Phi = 0$, $\theta = 0$, and 600. For $\theta = 0$. The distribution consists of the inner hexagonal part – whose enlarged view is shown in inset 1(a') – and the outer circular part. The inner part reflects C_6 symmetry of the reduced potential, while the outer part reflects the spherical symmetry of the potential in the proximity of the carbon atoms [16]. For $\theta = 600$ mrad, the inner part of the distribution gets elongated in the vertical directions while the outer circular region splits into two elliptical regions.

Black and blue lines in Fig. 1 show rainbows obtained by solving Eqs. (5) and (8). The rainbow pattern for $\theta = 0$ consists of two lines. The inner line has the shape of a hexagon with a curve homomorphic to the equilibrium set of the degenerate butterfly catastrophe F_5 at its corners [3, 4], while the outer rainbow is a circle. For $\theta = 600$ mrad, the inner rainbow pattern consists

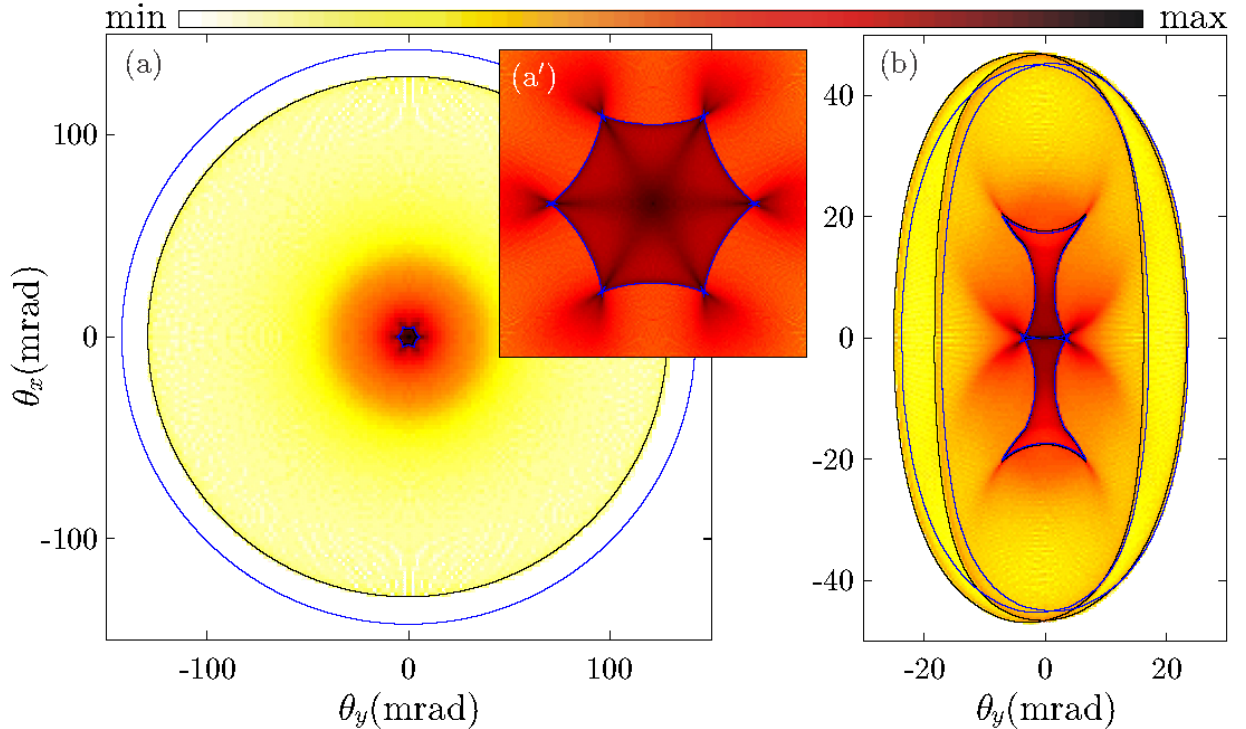


FIG. 1. Angular distributions in the exit plane for graphene tilted by (a) $\theta = 0$, and (b) $\theta = 600$ mrad. (a') An enlarged view of the central part of the distribution. Black and blue lines show rainbows obtained by solving Eqs. (5) and (8), respectively.

of a hexagonal line elongated vertically. Four out of six of its butterflies were transformed into cusps. The outer rainbow pattern consists of two elliptical lines. It is evident that exact and impulse approximation rainbows completely determine the shape of the angular distributions. For simplicity, we will study the metamorphoses of the rainbow pattern using the momentum approximation.

The black lines in Fig. 2(a) show the rainbow pattern in the scattering angle plane for $\theta = 0$ mrad. The inner pattern consists of the hexagonal line \bar{I} while the outer pattern consists of the circular line \bar{O} . The upper inset gives an enlarged view of butterflies $F_5^{(1)}, \dots, F_5^{(6)}$ belonging to line \bar{I} . The lower inset shows the enlarged view of the line \bar{I} in the vicinity of the butterfly $F_5^{(6)}$. Rainbows partition the scattering angle plane into regions colored according to the relative multiplicity of its points. Multiplicities, ranging from zero up to eight, are indicated with a different tone of the red color. Note that rainbows are boundaries at which multiplicity changes locally by two. The exterior of the curve \bar{O} has the lowest multiplicity of 0, while points in its interior have a multiplicity of 4. This indicates that rainbow \bar{O} is most probably composed of two overlapped lines. Most points inside the line \bar{I} have multiplicity six. The lower inset reveals that points inside the middle cusp have multiplicity 8. This explains why butterflies are the most prominent features of angular distribution.

The black lines in Fig. 2(a') show the corresponding rainbow pattern in the impact parameter plane. Each unit cell contains one copy of the rainbow pattern that consists of the line I and two lines O and O' enclosing atoms. The scattering law (6) maps line I to \bar{I} while both lines O and O' are mapped to \bar{O} , thus proving its double degeneracy. Lines in Fig. 2(a') separate areas of positive and negative potential curvature colored blue and red, respectively. Interiors of rainbows must contain extremum point of the potential φ .

Vertices of rainbows in Fig. 2(a') are shown by white dots. Irreducible vertices of the I are a, c, d and e . Points a , and d , are minima of the curvature, while points c and e are maxima. Between each max-min pair, the curvature has an inflection point. Four inflection points, vital for our analysis, are by the yellow points and labeled $b, b', -b$, and $-b'$. Note that minima a , and d of the line I are mapped to the butterfly cusps of the line \bar{I} (points \bar{a} and \bar{d}), while maxima c and e are mapped to the curvature minima of the line \bar{I} at centers of hexagon sides (points \bar{c} and \bar{e}). The inflection points $\pm b$, are mapped to the two side cusps of the butterfly $F_5^{(1)}$.

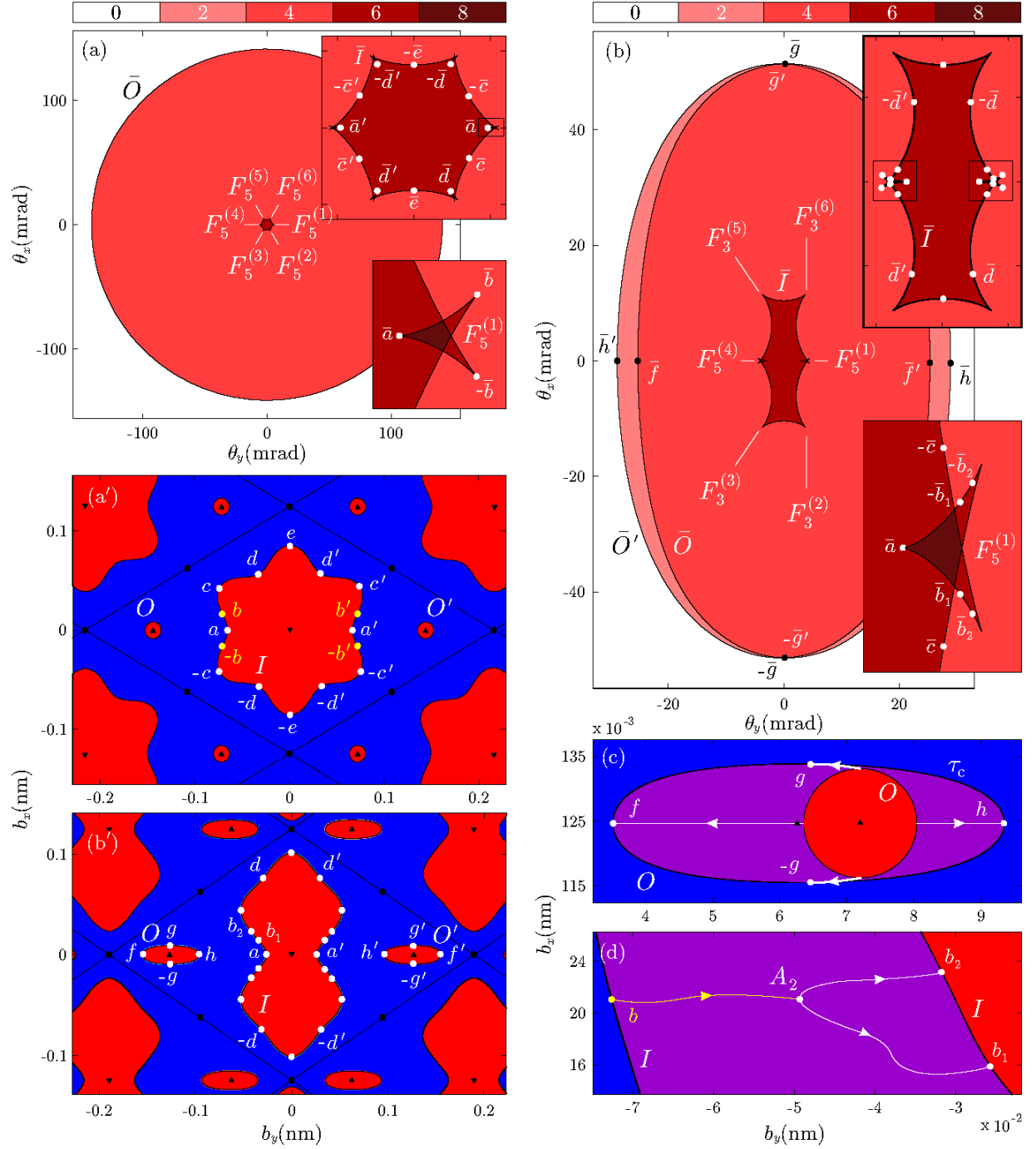


FIG. 2. (a), (b) Rainbows in the exit plane for $\theta = 0$, and $\theta = 500$ mrad. Multiplicities of points are coded according to shown colorbar. (a'), (b') The corresponding rainbow patterns in the impact parameter plane. Dashed black lines show the boundaries of the graphene unit cell. (c), (d) Bifurcations of vertices of rainbows O and I , respectively. Symbols \blacktriangle , \blacktriangledown , and \bullet mark maxima, minima, and saddles of the reduced potential.

For $\theta = 500$ mrad circular rainbow \bar{O} transforms into two elliptical lines \bar{O} and \bar{O}' each having four vertex points. The irreducible vertices are labeled f , g , and h . Their trajectories obtained for different values of the tilt angle θ are shown in Fig. 2(c). This Fig. reveals that these vertices are created simultaneously for infinitesimal change of the tilt angle $\theta = 0$ mrad. This process can be understood as a bifurcation of the conic section that transforms a circle into an ellipse.

The inner rainbow \bar{I} undergoes a more elaborate transformation. Its butterflies $F_5^{(2)}$, $F_5^{(3)}$, $F_5^{(5)}$, and $F_5^{(6)}$ are transformed into the cusps labeled $F_3^{(2)}$, $F_3^{(3)}$, $F_3^{(5)}$, and $F_3^{(6)}$. The increase of the tilt angle moves the central cusp and the nearest side cusp of each butterfly to approach each other. For $\theta = 234.6$ mrad, they undergo a saddle-node bifurcation that annihilates them, leaving one cusp in the place of the original three. The described unfolding occurs without alteration of the corresponding vertex structure in the vicinity of point d and its symmetrical equivalents. For $\theta = 0$ mrad, this point was associated with the central cusp of the pattern $F_5^{(2)}$. For $\theta = 234.6$ mrad, it is mapped to the double degenerate singular point created by the annihilation of two cusp singularities. After unfolding, vertex d is mapped to the point \bar{d} located to the right of the remaining cusp of the pattern $F_3^{(2)}$. Note that this behavior is characteristic of the unfolding of the defective catastrophe F_5 into F_3 .

Figure 2(b') show two vertex points b_1 , and b_2 at the place of the original point b . The evolution of point b in detail and obtained trajectory is displayed in Fig. 2(d). It shows that for $\theta = 444.9$ mrad, inflection point b becomes the degenerate critical point and bifurcates into critical point pair. The lower inset in Fig. 2(b) shows that points b_1 , and b_2 are mapped to points \bar{b}_1 , and \bar{b}_2 located near the vertex and cusp singular point of the butterfly pattern $F_5^{(1)}$.

REFERENCES

- [1] P. Doyle and P. Turner, Acta Cryst. A24, 390 (1968).
- [2] M. Ćosić, M. Hadžijojić, S. Petrović, R. Rymzhanov, and S. Bellucci, Carbon 145, 161 (2019).
- [3] V. I. Arnold, Catastrophe Theory (Springer-Verlag, 1986).
- [4] J. Callahan, The American Mathematical Monthly 84, 765 (1977).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Памяти Веры Евгеньевны Юрасовой.....	13
Vera E Yurasova – An Appreciation by M W Thompson.....	15
Секция №1. Распыление, эрозия поверхности, десорбция.....	17
V. Chernysh. Effect of preferential sputtering during irradiation of alloys with atomic and cluster ions.....	19
<u>Д.С. Кибалов,</u> В.К. Смирнов. Самоформирующаяся твердотельная наномаска и её индуцированная когерентность.....	26
<u>А.Б. Толстогузов,</u> П.А. Мажаров, А.Е. Иешкин, И.Н. Кутлусурин, С.И. Гусев. Распыление полупроводниковых соединений $A^{III}B^V$ атомными и кластерными ионами висмута.....	32
<u>В.С. Михайлов,</u> П.Ю. Бабенко, А.П. Шергин, А.Н. Зиновьев. Влияние шероховатости поверхности на коэффициенты распыления вольфрама изотопами водорода.....	36
Н.Н. Андрианова, А.М. Борисов, М.А. Овчинников, <u>Р.Х. Хисамов.</u> Влияние деформационного наноструктурирования на ионно-лучевую эрозию металлов.....	40
<u>А.Е. Ieshkin,</u> D.S. Kireev, A.A. Tatarintsev, V.S. Chernysh, B.R. Senatulin, E.A. Skryleva. Sputtering A_3B_5 semiconductors with atomic and cluster argon ions.....	44
<u>Я.Д. Белов,</u> А.Н. Куприянов, К.Н. Лобзов, В.И. Бачурин, И.И. Амиров. Моделирование распыления Al-Si с использованием машинного обучения.	47
В.В. Евстифеев, Н.В. Костина. Энергетические пороги распыления некоторых металлов с ОЦК решеткой при их бомбардировке ионами K^+	50
<u>Д.С. Киреев,</u> О.А. Стрелецкий, М.В. Самоделова, Н.Р. Яренков, Д.Р. Бессмертный, И.Н. Кутлусурин, А.Е. Иешкин. Формирование наночастиц серебра из тонких пленок облучением кластерными ионами аргона.....	54
И.М. Мамедов, И.А. Каньшин, М.С. Лобов, Н.В. Мамедов. Валидация расчетной модели распыления мишени в миниатюрном линейном ускорителе.....	58
<u>В.С. Михайлов,</u> П.Ю. Бабенко, А.П. Шергин, А.Н. Зиновьев. Коэффициенты распыления мишеней из бериллия и вольфрама различными атомами.....	63
<u>А.И. Мусин,</u> В.Н. Самойлов. Атомы, распыленные с грани (001) Ni в МД-модели с падением ионов: классификация и предыстория вылета.....	68
<u>М.С. Михайленко,</u> А.Е. Пестов, А.К. Чернышев, М.В. Зорина, Н. Кумар, Н.И. Чхало, Н.Н. Салащенко. Исследование поведения шероховатости поверхности основных ориентаций монокристаллического кремния при травлении ускоренными ионами инертных газов.....	72

<u>Н.Н.Никифорова</u>, Б.Л.Оксенгендлер, Х.Б.Ашуров, Б.Р.Кутлимурастов, С.Е.Максимов, О.Галкина. Радиационно-стимулированные процессы при взаимодействии ионов с пористыми структурами.....	76
<u>О.В. Подорожный</u>, А.В. Румянцев, Н.И. Боргардт. Оптимизация параметров межатомного взаимодействия при моделировании облучения кремния ионами галлия методом Монте-Карло.....	80
<u>А.В. Румянцев</u>, Н.И. Боргардт. Применение метода функций уровня для моделирования распыления многослойных подложек фокусированным ионным пучком.....	84
<u>О.А. Томилина</u>, В.Н. Бержанский, А.Л. Кудряшов, А.В. Каравайников, С.В. Томилин. Формирование пространственно-неоднородных покрытий при ионном распылении мишеней.....	88
<u>Р.Х. Хисамов</u>, А.М. Борисов, М.А. Овчинников, И.И. Мусабилов, Р.Р. Тимирязев, Р.Р. Мулюков. Термическая стабильность конусообразной поверхности ультрамелкозернистого вольфрама, полученной высокодозным ионным облучением.....	92
<u>А.К. Чернышев</u>, М.С. Михайленко, А.Е. Пестов, Н.Н. Салащенко, Н.И. Чхало. Методики прецизионной ионно-пучковой обработки оптических поверхностей.....	96
<i>Секция №2. Рассеяние и эмиссия ионов, электронов, фотонов и рентгеновских лучей при ионной бомбардировке.....</i>	101
К. Tókési, Z. Li, X.H. Zhou, J.M. Gong, R.G. Zeng, Z.J. Ding. Determination of Optical Properties of Solids from Reflection Electron Energy Loss Spectroscopy Spectra.....	103
Н. Trombini, G. G. Marmitt, I. Alencar, M. Vos, P. L. Grande. Medium Energy Ion Scattering capabilities for characterization of nanostructures.....	109
М. Ћосић and М. Hadžijojić. Morphological study of the rainbow scattering of protons by graphene.....	115
<u>В.П. Афанасьев</u>, Д.С. Ефременко, Л.Г. Лобанова. Определение интенсивностей сигналов в спектроскопии пиков упруго отраженных электронов.....	121
<u>В.П. Афанасьев</u>, Л.Г. Лобанова, В.И. Шульга. Отражение легких ионов от твердых тел.....	125
<u>А.Н. Зиновьев</u>, П.Ю. Бабенко, В.С. Михайлов. Потенциалы взаимодействия протонов и атомов водорода с металлами.....	130
<u>N.E. Efimov</u>, D.N. Sinelnikov, Y. Wang, Z.R. Harutyunyan, Y.M. Gasparyan, M.V. Grishaev, I.A. Nikitin, X. Tan. Quantitative analysis of the temperature driven chromium segregation in W-Cr-Y alloy by low energy ion scattering spectroscopy.....	134
<u>П.Ю. Бабенко</u>, В.С. Михайлов, А.Н. Зиновьев. Влияние многократности соударений на величину электронных тормозных потерь.....	137

<u>I.K. Gainullin</u> . On surface composition analysis with low energy alkali metal ions scattering.....	141
<u>D.E. Melezhenko</u> , S.A. Khlebnikov, A.A. Solovykh, A.A. Sycheva, Yu.A. Mankelevich, D.V. Lopaev, A.I. Zotovich, and E.N. Voronina. N ₂ plasma interaction with 2D MoS ₂ : experiment and modeling.....	145
Ш.Дж. Ахунов, Ш.М. Ахмедов, А.Ш. Раджабов, Б.Ш. Касимов, Д.Т. Усманов . Исследование угловых зависимостей выхода возбужденных молекул при бомбардировке электронами кэВ-ных энергий в ЭСД.....	149
А.С.Аширов, М.У.Отабоев, У.О.Кутлиев . Исследования энергии рассеянных ионов с поверхностью SiO ₂ (001)<110> в зависимости от точки прицеливания.....	153
<u>П.А.Бабаев</u> , Ф.О. Ахметов, С.А. Горбунов, Н.А. Медведев, Р.А. Рымжанов, Р.А. Воронков, А.Е. Волков. Формирование треков быстрых тяжелых ионов в полиэтилене.....	157
<u>Д.И. Зайнутдинов</u> , Р.А. Воронков, С.А. Горбунов, Н.А. Медведев, Р.А. Рымжанов, М.В. Сорокин, А.Е. Волков. Температурная зависимость кинетики структурных изменений в треках быстрых тяжелых ионов в карбиде кремния.....	161
В.П. Кощев, Ю.Н. Штанов . Компьютерное моделирование полной энергии молекулы углерода в первом порядке теории возмущений.....	165
<u>В.С. Михайлов</u> , П.Ю. Бабенко, А.П. Шергин, А.Н. Зиновьев. Коэффициенты отражения частиц при бомбардировке бериллия и вольфрама различными атомами.....	169
<u>В.С. Михайлов</u> , П.Ю. Бабенко, А.П. Шергин, А.Н. Зиновьев. Угловые и энергетические распределения распыленных атомов при бомбардировке вольфрама изотопами водорода.....	173
<u>Л.Г. Лобанова</u> , В.П. Афанасьев, М.В. Гришаев, Н.Е. Ефимов, И.А. Никитин, Д.Н. Синельников. Отражение протонов от слоисто неоднородных твердых тел.....	177
D.N. Sinelnikov, Y. M. Gasparyan, M.V. Grishaev, N.E. Efimov, S.A. Krat, I.A. Nikitin . Surface hydrogen isotopes detection by low angle ion scattering spectroscopy.....	181
L. Forlano and <u>A.I. Tolmachev</u> . Path length distribution of charged particles for the target of finite depth.....	184
<i>Секция №3. Имплантация ионов, модификация и анализ поверхности...</i>	187
D. Gogova . Gallium oxide – a promising material for the next generation high-power electronics.....	189
<u>Katharina Lorenz</u> , Duarte M. Esteves, Daniela R. Pereira, Luis C. Alves, Marco Peres. Defect engineering in wide bandgap semiconductors.....	192
S. Dutt, C. Notthoff, X. Wang, C. Trautmann, P. Mota-Santiago, P. Kluth . Annealing of ion irradiation damage in amorphous silicon dioxide.....	197

R. Voronkov, N. Medvedev, A.E. Volkov. Nonthermal effects in insulators under ultrafast electronic excitations.....	202
<u>В.П. Попов</u>, В.А. Антонов, Ф.В. Тихоненко, В.А. Володин, А.В. Мяконьких, К.В. Руденко, В.А. Скуратов. Дефекты в кремнии и high-k диэлектриках КНИ и КНС структур после внедрения быстрых ионов Хе и Вi.....	207
A.I. Struchkov, A.I. Titov, A.I. Klevtsov, K.V. Karabeshkin, E.D. Fedorenko, V.D. Andreeva, A.L. Shakhmin, A.I. Pechnikov, V.I. Nikolaev, P.A. Karaseov. Radiation damage accumulation in α -Ga ₂ O ₃ under keV ion bombardment.....	211
<u>А.А. Никольская</u>, Д.С. Королев, А.Н. Михайлов, А.А. Конаков, А.И. Охупкин, С.А. Краев, А.Д. Моисеев, А.А. Сушков, Д.А. Павлов, Д.И. Тетельбаум. Люминесцентные свойства и фазообразование в Si при ионном облучении SiO ₂ /Si.....	214
<u>Е.В. Окулич</u>, В.И. Окулич, Д.И. Тетельбаум. Апробация первопринципных методов для определения атомных конфигураций при ионной имплантации β -Ga ₂ O ₃	218
<u>Д.И. Тетельбаум</u>, А.А. Никольская, Д.С. Королев, А.В. Кудрин, А.Н. Михайлов, А.И. Белов, М.Н. Дроздов, А.А. Ревин, С.С. Чекушева, А.А. Конаков. Электрофизические свойства монокристаллов β -Ga ₂ O ₃ :Fe, ионно-легированных кремнием.....	222
<u>М.А. Смирнова</u>, К.Н. Лобзов, М.Е. Лебедев, Л.А. Мазалецкий, Д.Э. Пухов, С.В. Васильев, В.И. Бачурин, А.Б. Чурилов. Волнообразные периодические структуры на поверхности кремния, инициируемые облучением фокусированным ионным пучком галлия.....	226
Н.Н. Андрианова, А.М. Борисов, Е.А.Воробьева, М.А. Овчинников, В.В. Слепцов, Р.А. Цырков. Эффекты микроструктуры углеродных материалов при ионно-лучевой модификации поверхности.....	231
<u>Л.Б.Беграмбеков</u>, Н.А. Пунтаков, А.В. Грунин. Модификация структуры пиролитического графита и углеродных волокон под воздействием ионного облучения.....	235
<u>М.А. Моховиков</u>, Ф.Ф. Комаров, О.В. Мильчанин, И.Н. Пархоменко, Л.А. Власукова, E. Wendler, Н.Н. Коваль, А.Д. Тересов. Оптико-структурные свойства Si, гипердопированного In и As: эффект электроннолучевого отжига.....	240
<u>Е.А. Korneeva</u>, A.S. Sohatsky, V.A. Skuratov, A. Mutali, A.M. Korsunsky, A.I. Salimon, E.S. Statnik, A. Ibrayeva, P.A. Somov, L. Kurpaska, T.N. Vershinina, N.S. Kirilkin. Micromechanical testing of swift heavy ions irradiated materials.....	244
А.А. Абдувайтов, А.Н. Уроков, Х.Э. Абдиев, М.Б. Юсупжанова, Д.А. Ташмухамедова, Б.Е. Умирзаков. Изменение состава поверхности Ti при имплантации ионов O ₂ ⁺ и последующего отжига.....	245

<u>А.А. Абдувайитов</u>, Х.Х. Болтаев, Г.А. Розиков, Ф.Я. Худайкулов. Исследование изменение состава и структуры монокристалла W(111) при имплантации ионов кислорода.....	248
Абраева С.Т., Хужаниязова А.У., Худойбердиев И.Ф., Жумаев Ж.М., Хужаниязов Ж.Б. Ташмухамедова Д.А. Изменение состава и морфологии поверхности монокристаллического Ge при бомбардировке ионами Ar^+ и Na^+	252
<u>В.А. Андрианов</u>, К.А. Бедельбекова. Размер зерна и текстура при имплантации атомов Fe-57 в фольги Mo и Ta.....	255
<u>С.С. Волков</u>, Т.И. Китаева, С.В. Николин. Анализ поверхности технологических объектов ионными и электронными пучками.....	258
Ю.А. Данилов, Ю.А. Агафонов, В.И. Бачурин, В.А. Быков, О.В. Вихрова, В.И. Зиненко, И.Л. Калентьева, А.В. Кудрин, А.Е. Парафин, С.Г. Симакин, <u>П.А. Юниц</u>, А.А. Яковлева. Свойства GaAs, облученного ионами марганца.....	261
<u>Д.А. Здоровейцев</u>, И.Н. Антонов, О.В. Вихрова, Ю.А. Данилов, Ю.А. Дудин, В.П. Лесников, А.В. Здоровейцев, А.Е. Парафин, М.Н. Дроздов. Особенности ионного легирования арсенида галлия висмутом.....	265
<u>А.В. Здоровейцев</u>, Ю.А. Данилов, А.В. Мурель, Н. Boudinov. Легирование арсенида галлия ионами элементов IV группы.....	269
<u>Н.А. Иванов</u>, С.А. Небогин, В.Л. Паперный, Л.И. Брюквина. Радиационные дефекты в щелочно-галоидных кристаллах, наведенных потоками ускоренных ионов магния.....	273
А.И. Иванова, Д.О. Вахрушев, О.С. Корнева, А.В. Гурулев, Д.Д. Ефимов, А.А. Чернышев. Исследование высокоинтенсивной имплантации ионов титана и энергетического воздействия пучка на поверхность кремния.....	277
К.П. Карасев, Д.А. Стрижкин, В.Е. Пуха, А.И. Титов, <u>П.А. Карасев</u>. Моделирование поверхностных явлений при бомбардировке кремния ионами C_{60}	280
Ф. Ф. Комаров, Л. А. Власукова, О. В. Мильчанин, И. Н. Пархоменко, Y. Verengen, А. Е. Альжанова, Тин Ван, J. Zuk. Оптические свойства слоев кремния, гипердопированных селеном: эффекты лазерной и термической обработки.....	284
Д.С. Лукьянцев, А.В. Лубенченко, Д.А. Иванов, О.И. Лубенченко. Модификация и распыление неоднородных многослойных окисленных металлических плёнок слаботочными пучками ионов аргона.....	288
<u>И.В. Николаев</u>, Н.Г. Коробейщиков. Влияние бомбардировки кластерными ионами аргона на поверхность монокристалла $KGd(WO_4)_2:Nd$	292

<u>А.А. Никольская</u>, Д.С. Королев, В.Н. Грушин, А.И. Белов, М.Н. Дроздов, П.А. Юнин, А.Н. Михайлов, Д.И. Тетельбаум. Структурное разупорядочение и распределение примесных атомов в β -Ga ₂ O ₃ , подвергнутом имплантации ионов бор.....	295
<u>Д.А. Новиков</u>, Е.А. Маркова, В.М. Микушкин. К вопросу о диффузионных механизмах накопления приповерхностных дефектов при имплантации кремния.....	298
Д.А. Новиков, А.Е. Калядин, Н.А. Соболев, К.В. Карабешкин, В.С. Калиновский, Е.А. Гребенщикова, В.М. Микушкин. Гашение фотolumинесценции дефектами приповерхностной области GaAs, имплантированного ионами азота с энергией 250 кэВ.....	302
<u>Е.О. Паршин</u>, Н.С. Мелесов. Особенности дефектообразования при облучении Ga-содержащих материалов.....	306
С.Н. Подлесный, В.А. Антонов, И.А. Каргашев, В.П. Попов, Ю.Н. Пальянов. Свойства NV ⁻ центров в наноструктурах (111) алмаза после травления сфокусированным пучком ионов Ga.....	310
<u>В.В. Поплавский</u>, О.Г. Бобрович, А.В. Дорожко, В.Г. Матыс. Особенности формирования легированных слоев на поверхности вентильных металлов в процессе ионно-ассистированного осаждения металлов из плазмы вакуумного дугового разряда.....	314
<u>В.В. Привезенцев</u>, А.П. Сергеев, А.А. Фирсов, В.С. Куликаускас, А.В. Горячев. Исследование пленок оксида кремния, имплантированных цинком и окисленных при повышенных температурах.....	318
В.В. Углов, М.М. Белов, С.В. Злоцкий, А.Е. Рыскулов, И.А. Иванов, Д.Ке. Фазовая стабильность и микроструктура ОЦК-структурированных концентрированных твердых растворов, облученных ионами криптона.....	322
В.В. Углов, В.М. Холод, П.С. Гринчук, И.А. Иванов, А.Л. Козловский, М.В. Здоровец. Модификация структуры и фазового состава карбида кремния при облучении ионами гелия.....	326
Р.Х. Хасаншин, Д.В. Уваров. Пороговые значения параметров электронного облучения стекла, приводящего к электростатическим разрядам.....	330
Р.Х. Хасаншин, Л.С. Новиков. Структурные изменения поверхности стекла К-208 после протонного облучения разной интенсивности.....	334
<u>A.Y. Polyakov</u>, A.A. Vasilev, A.I. Kochkova, I.V. Shchemerov, E.B. Yakomov, V.I. Nikolaev, A.I. Pechnikov, A.V. Miakonkikh, A. Kuznetsov, A. Azarov, In-Hwan Lee, S.J. Pearton. Hydrogen plasma influence on electrical properties and deep traps spectra of various polymorphs of Ga ₂ O ₃	338