



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ТҰҢҒЫШ ПРЕЗИДЕНТІ - ЕЛБАСЫНЫҢ ҚОРЫ

«ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ БІЛІМ – 2017»

студенттер мен жас ғалымдардың
XII Халықаралық ғылыми конференциясының
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

XII Международной научной конференции
студентов и молодых ученых
«НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ – 2017»

PROCEEDINGS

of the XII International Scientific Conference
for students and young scholars
«SCIENCE AND EDUCATION - 2017»



14th April 2017, Astana



**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ**

**«Ғылым және білім - 2017»
студенттер мен жас ғалымдардың
XII Халықаралық ғылыми конференциясының
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
XII Международной научной конференции
студентов и молодых ученых
«Наука и образование - 2017»**

**PROCEEDINGS
of the XII International Scientific Conference
for students and young scholars
«Science and education - 2017»**

2017 жыл 14 сәуір

Астана

УДК 378

ББК 74.58

Ғ 96

Ғ 96

«Ғылым және білім – 2017» студенттер мен жас ғалымдардың XII Халықаралық ғылыми конференциясы = The XII International Scientific Conference for students and young scholars «Science and education - 2017» = XII Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Наука и образование - 2017». – Астана: <http://www.eni.kz/ru/nauka/nauka-i-obrazovanie/>, 2017. – 7466 стр. (қазақша, орысша, ағылшынша).

ISBN 978-9965-31-827-6

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

УДК 378

ББК 74.58

ISBN 978-9965-31-827-6

©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия
ұлттық университеті, 2017

emission devices formed by energetic cluster impacts on TiO₂ rutile // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. -2000.-vol. 166–167, pp. 788-792.

5. Koichi Awazu, Xiaomin Wang, Makoto Fujimaki, Tetsuo Komatsubara, Takahiro Ikeda et al. Structure of latent tracks in rutile single crystal of titanium dioxide induced by swift heavy ions // J. Appl. Phys.-2006.Vol.100, -P.044308. doi: 10.1063/1.2229432

6. Ken-ichi Nomura, Tetsuya Nakanishi, Yoshihiro Nagasawa, Yoshimichi Ohki, Koichi Awazu, Makoto Fujimaki, Naoto Kobayashi, Satoshi Ishii, and KunihiroShima. Structural change induced in TiO₂ by swift heavy ions and its application to three-dimensional lithography // Phys. Rev. - 2003. –Vol. 68, - p. 064106.

7. Kabir, A. Meftah, J. P. Stoquert, M. Toulemonde, and I. Monnet. Amorphization of sapphire induced by swift heavy ions: A two step process// Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms.-2008.-vol. 266, pp. 2976-2980.

8. Ishikawa N., Okubo N., Taguchi T. Experimental evidence of crystalline hillocks created by irradiation of CeO₂ with swift heavy ions: TEM study. // Nanotechnology. 2015. Vol. 26, № 35. P. 355701.

9. Popok V.N. et al. Formation of surface nanostructures on rutile (TiO₂): comparative study of low-energy cluster ion and high-energy monoatomic ion impact // J. Phys. D. Appl. Phys. IOP Publishing, 2009. Vol. 42, № 20. P. 205303.

10. Aumayr F. et al. Single ion induced surface nanostructures: a comparison between slow highly charged and swift heavy ions // J. Phys. Condens. Matter. IOP Publishing, 2011. Vol. 23

11. Akcöltekin E. et al. Creation of multiple nanodots by single ions // Nat. Nanotechnology, Publ. online 29 April 2007; | doi10.1038/nnano.2007.109. Nature Publishing Group, 2007. Vol. 2, № 5. P. 290.

ӘОЖ 533.9.03; 533.9.15

OML ТЕОРИЯСЫНЫҢ КӨМЕГІМЕН ТОЗАҢДЫ БӨЛШЕКТЕРДІҢ ЗАРЯДТАЛУ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ

Әбимолдаева А.Е.

Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ физика-техникалық факультетінің магистранты, Астана
Ғылыми жетекшісі – Р.Аманғалиева

Тозаңды плазма (тозаңды бөлшектерден, бейтарап бөлшектерден, электрондар мен иондарды тұратын көпкомпонентті жүйе) идеал және тепе-тең күйде сирек кездеседі. Бұл– ашық, сызықты емес, диссипативті, тепе-теңсіз жүйе [1].

Плазмадағы тозаңды бөлшек заряды мұқият зерттеуді қажет ететін негізгі мәселе болып табылады, сондықтан заряд шамасы жүйе туралы негізгі мәліметке ие және тозаңды плазманың маңызды параметрі болып есептеледі. Тозаңды бөлшектер заряды қоршаған плазманың локальді параметрі мен макробөлшектердің шамасына тәуелді. Газдық разряд плазмасында тозаңды бөлшек заряды оның жоғарғы бөлігіндегі иондар мен электрондар ағынының тепе-теңдігімен анықталады.

Мұнда цилиндрлік разряд түтігіндегі тығыздығы төмен аргонның стратталған тұрақты ток разрядында біркелкі емес плазманың кейбір нүктесінде таралған тозаңды бөлшектің зарядын табатын боламыз.

Бөлшек сфералық көлемді (бөлшек радиусы $a \sim 2$ мкм) деп болжаймыз. Бір сыншы бөлшектің болуы Дебай радиусынан бірнеше есе артық бөлшектің айналасында разряд өрісін өзгертеді.

Ионның бейтарап газ температурасы бар болғандықтан, өрістегі қыздырылған электрон ескерілмейді. Электр өрісінен өтетін қыздырылған газ ескерілмейді.

Электрон мен ион бөлшектің бетіне түсіп рекомбинацияланады. Рекомбинация

нәтижесінде пайда болған бейтарап бөлшектер газға айналады. Сол себепті ионмен салыстырғанда жоғары шапшандыққа ие электрондардың ағыны зарядтың бастапқы деңгейіндегі бөлшек ағынында электрондар ағыны айтарлықтай басым болады. Бейтарап бөлшек теріс зарядтала бастайды, ионды тартып алатын және бөлшектен басқа электрондардың тебуіне әкелетін бөлшектің айналасын қоршаған теріс потенциалдың пайда болуына әкеледі. Бөлшектегі ион ағыны мен электрон ағыны заряды тең болғанға дейін көбейе береді. Содан кейін бөлшек зарядының өзгеруі тоқтайды.

Стационар күйде баяу қозғалыстағы электрондар кері тебіліп бөлшек бетіне түсе алмайды. Электрондардың шектелген орбитальдық қозғалысының жалпыланған моделін (orbit motion limited (OML) theory) қолданамыз. Аталған жуықтаудың шарты келесідей болады:

$$a \ll \lambda_d \ll l_{i(e)},$$

мұндағы λ_d —плазманың экрандалған ұзындығы;

$l_{i(e)}$ — ионның (электронның) орташа еркін жол жүру ұзындығы.

Бөлшек оқшауланған деп есептейміз, яғни басқа бөлшектер айналасында таралған сыншы бөлшектер, иондар мен электрондар әсер етпейді.

Тозанды бөлшектің ионы мен электронның жұтылу қимасы оның жылдамдығына (немесе кинетикалық энергиясына) тәуелді:

$$\sigma_{cap,e}(V) = \begin{cases} \pi a^2 \left(1 + \frac{2e_0\varphi_s}{m_e V^2}\right) = \pi a^2 \left(1 + \frac{e_0\varphi_s}{U}\right), & \frac{2e_0\varphi_s}{m_e V^2} > -1, \quad (U > -e_0\varphi_s), \\ 0, & \frac{2e_0\varphi_s}{m_e V^2} > -1, \quad (U < -e_0\varphi_s), \end{cases} \quad (1)$$

$$\sigma_{cap,i}(V) = \pi a^2 \left(1 - \frac{2e_0\varphi_s}{m_i V^2}\right),$$

мұндағы $m_{e(i)}$ — ион (электрон) массасы; V және V_i — ион мен электрон жылдамдығы.

Плазмаға қатысты тозанды бөлшек бетіндегі потенциал φ_s теріс деп қабылданған. Иондар бірзарядты деп болжанады. Бөлшектің стационар потенциалы мен заряды бөлшек бетіндегі электрондар мен иондар ағынының теңдігінен анықталады: $I_e = I_i$,

(r, z) нүктесінде орналасқан бөлшектің бетіне түскен электрондар ағыны мынаған тең:

$$I_e = \sqrt{\frac{2}{m_e}} \int_{-e_0\varphi_s}^{\infty} \sigma_{cap,e}(u) f_0(r, z, U) U dU, \quad (2)$$

мұндағы $f_0(r, z, U)$ -электрондардың таралу функциясының изотропты бөлігі.

Бөлшектің бетіне түскен ион ағыны мынаған тең:

$$I_i(r, z) = \int_0^{\infty} \sigma_{cap,i}(V_i) f_i(r, z, V_i) V_i d^3V_i, \quad (3)$$

Ионның таралу функциясы $f_i(r, z, V_i)$ максвелл қозғалысының таралуымен аппроксимациялануы мүмкін:

$$f_i(r, z, V_i) = \frac{n_i}{(2\pi k_B T_i / m_i)^{3/2}} \exp\left(-\frac{m_i(\vec{V}_i - \vec{V}_{id})^2}{2k_B T_i}\right), \quad (4)$$

мұндағы $\vec{V}_{id}(r, z) = \mu_i \vec{E}(r, z)$ - электр өрісіндегі ионның дрейфті жылдамдығы,

$\mu_i = 1.16 \cdot 10^3 / p(\text{Торр}) \cdot (T_i / 273\text{K}) [cm^2 \cdot \text{Торр} / (B \cdot c)]$ - аргон ионының шапшаңдығы.
Бөлшектегі ион ағыны төмендегі теңдеумен берілген [2,3]:

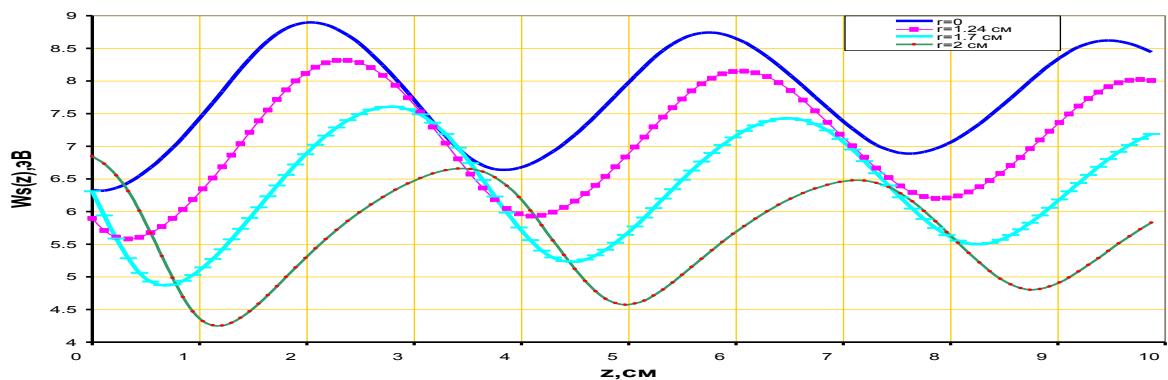
$$I_i(r, z) = \sqrt{\frac{2k_B T_i}{\pi m_i}} \pi a^2 n_i(r, z) \frac{1 + m_i V_{id}^2 / k_B T_i - 2e_0 \varphi_s / k_B T_i}{\sqrt{m_i V_{id}^2 / k_B T_i}} \sqrt{\frac{\pi}{2}} \operatorname{erf}(\sqrt{m_i V_{id}^2 / 2k_B T_i}) \quad (5)$$

Салыстыру үшін аргон ионының жылулық қозғалысын қарастырайық $\langle V_i \rangle_T = \sqrt{8k_B T_i / \pi m_i} = 2.29 \cdot 10^3 \sqrt{T_i [K]}$. Демек, бөлме температурасы $T_i = 300 \text{ K}$ және қысымы $p = 0,2 \text{ Торр}$ болатын аргонның дрейфті жылдамдығы $E = 8 \text{ В/см}$ өрістегі жылулық қозғалысынан басым түседі. Сәйкесінше страттарда аксиал өрісі және қабырға маңында радиал электр өрісі көп болғандықтан, бөлшек зарядын анықтауда дрейфті жылдамдықты ескерген қажет.

ФРЭЭ кеңістіктік таралуын және электр өрісінің таралуын қолданып, разряд түтігінің әр түрлі нүктесіндегі сыншы тозаң бөлшектерінің зарядын анықтауға болады.

Төменде орташа электр өрісі $E_0 = 3,5 \text{ В/см}$ және аргон қысымы $p = 0,26 \text{ Торр}$ болатын плазма параметрлерінің есептеу нәтижелері көрсетілген.

1-суретте сыншы тозаң бөлшектің бетіндегі потенциалдың аксиалды тәуелділігі көрсетілген.



Сурет 1. Түтік осінен әр түрлі қашықтықтағы сыншы тозаңды бөлшектері бетіндегі потенциалдың аксиалды таралуы

Бөлшек потенциалы $W_s = -e_0 \varphi_s$ белгілі болса, оның зарядын $Z_d = W_s a / e_0^2$ табу жеңіл. Сыншы бөлшек заряды разряд тогына тәуелсіз. Ток берілген потенциалға дейінгі бөлшек зарядының уақытына ғана тәуелді. Бір-біріне қатысты максимум таралу қозғалысы қызықты. Түтік центрінен қашықтаған сайын анодқа максималды жақындайды. Бұл түтіктің страты жазық емес, яғни майысқан және катодқа дөңес орналасқан дегенді білдіреді.

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Фортон В.Е., Храпак А.Г., Храпак С.А., Молотков В.И., Петров О.Ф. Пылевая плазма// УФН. 2004. Т. 174. № 5.С. 495-542.
2. Сухинин Г.И., Федосеев А. В. Самосогласованная кинетическая модель эффекта стратификации разрядов низкого давления в инертных газах // Теплофизика высоких температур. 2006. Т. 44. № 2. С. 165-173.
3. Sukhinin G.I., Fedoseev A.V., Ramazanov T.S., Dzhumagulova K.N., Amangaliyeva R.Zh. Dust particle charge distribution in a stratified glow discharge, J.Phys. D: Appl. Phys. 2007. №40. P.1-5.