

ISSN 0367-1631

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
ОДЕССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. И. И. МЕЧНИКОВА

# **Физика аэродисперсных систем**

**ВЫПУСК 37**

МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ СБОРНИК

*Основан в 1969 г.*

**Одесса  
“АстроПринт”  
1998**

УДК 541.182.2/3:541.126:536.24+66.015.23:533.6

Рассмотрены вопросы испарения, конденсации и коагуляции в водном аэрозоле, а также кинетика горения твердых и порошкообразных горючих. Приведены результаты исследования по тепло- и массообмену в дисперсных системах. Освещены проблемы активного воздействия на метеорологические явления.

Для физиков, химиков, метеорологов и инженеров.

Розглянуто питання випаровування, конденсації та коагуляції у водяному аерозолі, а також кинетика горіння твердих і порошкоподібних палив. Наведено результати досліджень з тепло- і масообміну в дисперсних системах. Висвітлено проблеми активної дії на метеорологічні явища.

Для фізиків, хіміків, метеорологів і інженерів.

*Редакционная коллегия:*

д-р физ.-мат. наук, проф.	В. В. Калинин	(гл. ред.);
д-р физ.-мат. наук, проф.	М. Н. Чесноков	(зам. гл. ред.);
д-р физ.-мат. наук, проф.	С. К. Асланов	(зам. гл. ред.);
д-р физ.-мат. наук, проф.	А. Н. Золотко	(зам. гл. ред.);
д-р физ.-мат. наук, проф.	Н. Х. Копыт	(зам. гл. ред.);
д-р физ.-мат. наук, проф.	С. М. Контуш	
д-р физ.-мат. наук, проф.	Ю. П. Корчевой;	
д-р физ.-мат. наук, проф.	А. В. Затовский;	
д-р физ.-мат. наук, проф.	В. Г. Шевчук;	
канд. физ.-мат. наук, доц.	Г. Н. Липатов;	
канд. физ.-мат. наук, доц.	С. В. Маргашук;	
канд. физ.-мат. наук	Я. И. Вовчук	(секретарь);
канд. физ.-мат. наук	С. Г. Орловская	(отв. секретарь)

*Адрес редакционной коллегии:*

270001, Одесса, ул. Пастера, 27, университет, кафедра теплофизики, тел. 23-12-03.

Редакция при Одесском государственном университете.

---

*Редакционная коллегия сборника выражает благодарность институту математики, экономики и механики Одесского госуниверситета им. И. И. Мечникова, директору института, профессору Е. В. Круглову за оплату издания сборника*

---

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### ФИЗИКА АЭРОЗОЛЕЙ

<i>Курмашев Ш., Гавдзик А., Градобоев А., Маргащук С., Софронков А.</i> Адсорбция водорода в Pd-Si:Au дисперсных структурах . . . . .	6
<i>Лебедева Т. Н., Ческая Т. Ю.</i> Внутренняя подвижность частиц дисперсных систем . . . . .	12
<i>Лебовка Н. И., Штангеева Н. И., Шиманский Ю. И.</i> Моделирование процессов периодической рекристаллизации в дисперсных системах . . . . .	18
<i>Локотюш Т. В., Маломуж Н. П., Морозов А. Н.</i> Флуктуационно–мультипольный механизм дальнодействующих межчастичных взаимодействий в дисперсных системах . . . . .	25
<i>Подвысоцкий А. М., Дубровский В. В.</i> Критические условия разрушения капель газовым потоком . .	32
<i>Макордей Р. И.</i> Зависимость дисперсности и каталитической активности скелетного никеля от фазового состава сплавов Ni-Al . . . . .	38
<i>Сидоров В. И.</i> Спектры ЛДА на частицах в ламинарном потоке с гармоническими колебаниями скорости . . . . .	41
<i>Стручаев А. И.</i> Компьютерное моделирование переноса “пассивного” аэрозоля вихревыми кольцами по ЛДА-измерениям структуры . . . . .	46
<i>Таволжанский В. М., Чернова Е. А., Липатов Г. Н.</i> Неустойчивость ламинарных неизотермических течений . . . .	53
<i>Щекатолина С. А., Григоренко С. В.</i> Диффузионная зарядка ультрамелких частиц атмосферного аэрозоля . . . . .	56

<i>Яценко В. П., Шрайбер А. А.</i> О влиянии подъемной силы магнуса на движение частиц в потоке газозвеси .....	63
<i>Буйко А. С., Федчук А. П., Барняк Е. М.</i> Дифракция лазерного излучения на кластеризованной компоненте слезной жидкости человека .....	69

### **ФИЗИКА ГОРЕНИЯ**

<i>Садковский В. И., Орловская С. Г., Курочкина Т. А.</i> Влияние внутреннего реагирования на характеристики горения углеродной частицы .....	75
<i>Трофименко М. Ю.</i> Уточнение зонной структуры факела пламени борсодержащей смесевой системы .....	79
<i>Яровой Т. А., Золотко А. Н., Полетаев Н. И., Вовчук Я. И.</i> Воспламенение, горение и потухание частиц высокозольных углей .....	82
<i>Копейка А. К., Головкин В. В., Золотко А. Н.</i> Горение жидких взрывчатых веществ при наличии нехимического источника тепла в конденсированной фазе ...	86

### **ТЕПЛОМАССОБМЕН**

<i>Цыкало А. Л., Семенов А. М., Блюхер Б.</i> Моделирование процессов испарения и рассеивания паров экологически опасных жидкостей в атмосфере в результате аварийных разливов, утечек и выбросов .....	95
<i>Царгородская А. Б., Алтоиз Б. А., Поповский А. Ю.</i> Исследование ориентационной упорядоченности пристенных слоев нитробензола, образованных на металлической поверхности .....	104
<i>Карповский Е. Я., Барняк Е. М., Заславский В. М., Гетманец В. Ф., Федчук А. П.</i> Расчет эффективной теплопроводности твердой двуокиси углерода .....	108

<i>Прудникова Ю. В., Калинин В. В.</i> Критические режимы тепломассообмена и кинетики гетерогенно-каталитического окисления углерода на платине .....	114
--	-----

## ГАЗОДИНАМИКА

<i>Асланов С. К., Любченко И. В.</i> Теория структуры детонации и пределы ее распространения .....	118
<i>Асланов С. К., Шкулина С. А., Царенко А. П.</i> К теории взрывных волн от горючих облаков .....	124

## ЭЛЕКТРОФИЗИКА

<i>Маренков В. И.</i> Электрофизические характеристики плазмы с макрочастицами конденсированной дисперсной фазы и атомами щелочных металлов в газовой фазе .....	128
<i>Полищук В. Е., Полищук И. В., Демянчук Б. А., Макордей Ф. В., Шевченко Г. Н.</i> Развитие энергосберегающих технологий на высокодисперсных ферритах .....	144
<i>Софронков А., Курмашев Ш., Гавдзик А., Юрчук Н., Колутаева Т., Колутаева О.</i> Низкотемпературный водородный электрод на основе никеля без предварительного выщелачивания алюминия ...	149
<i>Титов Д. В.</i> Нелинейное экранирование в высокотемпературном аэрозоле, граничащем с проводящей стенкой .....	152
<i>Ляхова Е. С., Алтоиз Б. А.</i> Моделирование полимолекулярного слоя ЭЖК фазы нитробензола на гидроксильном покрове кварца .....	159

### **Адсорбция водорода в Pd-Si:Au дисперсных структурах**

*Курмашев Ш., Гавдзик А., Градобоев А.,  
Маргащук С., Софронков А.*

*Одесский государственный университет, Одесса, Украина  
Университет Ополе, Польша*

Изучение взаимодействия газов, особенно водорода, с металлами показало, что при адсорбции водорода поверхностные и объемные свойства некоторых металлов значительно изменяются [1]. В работе [2] показано, что планарные МДП-транзисторы с палладиевым затвором обладают значительной чувствительностью к водороду при  $T=300...400$  К. Как известно, высота барьера Шотки зависит от разности работ выхода электронов металла и полупроводника [3]. Следовательно, изменение работы выхода  $\chi_m$  при адсорбции водорода приводит к изменению высоты потенциального барьера металл-полупроводник, а ток, протекающий в барьере Шотки, экспоненциально зависит от высоты барьера. Таким образом, поглощение газов в барьере Шотки может привести к изменению его токовых и емкостных характеристик. Диоды Шотки на кремнии р-типа с палладиевым электродом обладают высокой чувствительностью к водороду в интервале температур 120...450 К [4].

Нами изучалось влияние адсорбции водорода на токи двойной инжекции в Pd-Si:Au-диоде с протяженной базой. Удельное сопротивление n-Si:Au составляло  $10^3...10^5$  Ом·см, концентрация примеси золота  $N_{Au}=10^{14}...10^{15}$  см<sup>-3</sup>. Длина базы диодов  $d=0.2...0.5$  мм. Палладиевый электрод наносили на предварительно обработанную поверхность кремния электрохимическим осаждением. Толщина слоя палладия составляла 10...20 нм. Площадь контакта  $s=(2...6)\cdot 10^{12}$  см<sup>2</sup>. Омический n<sup>+</sup>-контакт получали сплавлением сплава Au + 0.1%Sb в вакууме при  $T=700^\circ\text{C}$ . Для определения параметров потенциального барьера изучались структуры с  $d=20...40$  мкм, а также диоды на некомпенсированном кремнии с  $\rho=10...100$  Ом·см. Водород очищали от примесей пропусканием через палладиевый фильтр. При температурных измерениях, для улучшения теплообмена, в ячейку с образцами на время измерений напускали гелий, который на характеристики приборов не влиял.

Из вольт-амперных характеристик, снятых при различных температурах (ВАХ экспоненциальны лишь в области малых токов), определена высота потенциального барьера (рис.1). Учтено понижение барьера Шотки в поле сил изображения ( $\Delta\phi=(8...9)\cdot 10^{-3}$  эВ).

Структуры, предварительно выдержанные в водороде ( $P=120$  Па,  $T=300$  К), имеют высоту барьера, на  $\sim 0.03$  эВ меньшую, чем до воздействия водорода. Если прямое смещение превышает некоторое значение  $V_{кр}$ , ток с напряжением растет несколько медленнее, чем следует из теории диода Шотки [3]. Это может быть связано с наличием туннельно-тонкого оксидного слоя между кремнием и палладием [5]. Средняя толщина окисной прослойки составляет  $\delta=1.2...4$  нм. Напряжение  $V_{кр}$  при  $T=77$  К составляет  $\sim 0.16$  В. Используя формулу  $V_{кр}=V_{би}-BT$ , можно оценить максимальную температуру, при которой Pd-n-Si-структура еще функциональна ( $V_{кр}=0$ ):  $T=150$  К. Этот вывод подтверждается видом экспериментальных ВАХ: при  $T \approx 150$  К на ВАХ нет экспоненциального участка, т.е. это уже не диод Шотки.

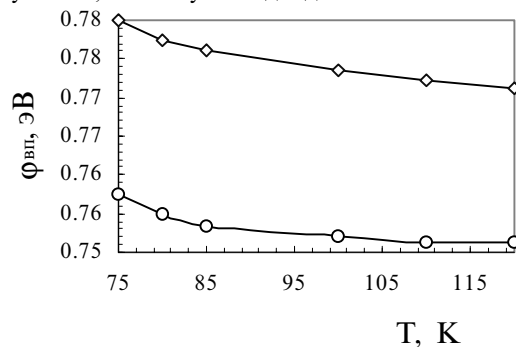


Рис.1. Зависимость высоты барьера для электронов  $\phi_{вн}$  от температуры до (1) и после (2) адсорбции водорода

Высота потенциального барьера диода Шотки определяется известным выражением [3]

$$\phi_b = V_D + V_n + kT/q - \Delta\phi,$$

где  $\Delta\phi$  - занижение барьера за счет сил зеркального изображения,  $V_n = (-kT/q) \ln N_c / N_d$ ,  $V_D$  - диффузионный потенциал. Если учитывать, что при адсорбции и десорбции газа все члены, входящие в уравнение, кроме  $V_D$ , не изменяются, то можно считать, что изменение высоты потенциального барьера полностью связано с изменением высоты диффузионного потенциала, следовательно,  $\Delta\phi_b = \Delta V_D$ .

В [4] изменение напряжения плоских зон Pd-МДП-структуры при водородной адсорбции объясняется изменением работы выхода электрона контактного металла (Pd). Если известна толщина оксидного слоя на кремнии и, полагая, что изменение работы выхода палладия при взаимодействии с водородом  $\Delta\Phi_M \approx 0.5$  эВ, можно оценить плотность поверхностных электронных состояний (ПЭС) на поверхности кремния. Так как изменение высоты барьера Шотки при взаимодействии структуры с водородом мало ( $\Delta\phi_b \approx 2.5 \cdot 10^{-2}$  эВ),

практически все изменение разности работ выхода между кремнием и палладием приходится на оксидную пленку. Отсюда  $N_{ss} \approx (1/q) \cdot (\epsilon\epsilon_0/\delta) \cdot (\Delta\Phi_M/\Delta\Phi_B) \cdot 10^{14}$  см<sup>-2</sup>эВ<sup>-1</sup>. Эта плотность по порядку величины согласуется с известными данными, относящимися к контактам металл-кремний [3].

Для определения нижней температурной границы чувствительности структур проводились измерения влияния на их ВАХ напусков водорода в диапазоне температур  $T=77...400$  К при давлении  $\sim 120$  Па. ВАХ снимались при температуре  $T=77$  К. Максимальное изменение тока зафиксировано, если напуск водорода производили при  $T=250$  К (рис.2). Нижняя температурная граница чувствительности к водороду составляет  $100...120$  К. Чувствительность к водороду мало изменяется вплоть до давления  $1.2$  Па. Процесс десорбции происходит при прогреве при  $T=400$  К за  $10-15$  мин. и значительно убыстряется, если диод продували после подачи водорода потоком кислорода.

Анализируя полученные результаты, можно сказать, что немонотонная зависимость относительного изменения тока от температуры (рис.2)

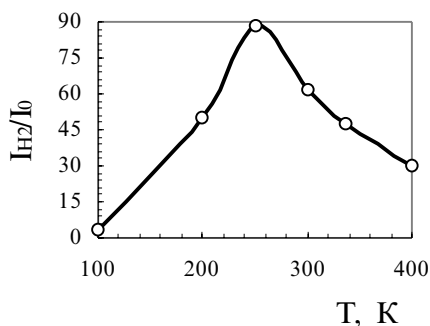


Рис.2. Зависимость относительного изменения тока от температуры образца во время напуска водорода.  $P = 120$  Па,  $T = 77$  К

свидетельствует о том, что за проникновение водорода в палладий ответственно несколько процессов, характеризующихся противоположными температурными зависимостями. В частности, диссоциация молекул водорода на атомы и диффузия их ускоряются с ростом температуры. В то же время, растворимость водорода в палладии с ростом температуры снижается [6,7]. Часть водорода находится в палладии в виде протонов, на что указывают эксперименты по влиянию электрического поля на «водородный эффект» [4].

Изменением только работы выхода палладия при адсорбции водорода нельзя ограничиться при объяснении водородочувствительности поверхностно-барьерных структур (ПБС). Так, авторы [8] объясняют этот эффект образованием протонами поляризованного слоя между металлом и диэлектриком. В пользу протонной модели свидетельствует аномально высокий коэффициент диффузии водорода в палладии, что можно объяснить малыми



размерами протона. Следует также учитывать возможность участия в механизме адсорбции водорода изменения плотности ПЭС. Высота потенциального барьера для электронов со стороны металла составляет  $\phi_{\text{m}} \approx 0.78$  эВ (рис.1), т.е. уровень Ферми на поверхности Si отстоит от потолка  $v$ -зоны на  $\sim 0.35$  эВ (примерно на  $1/3 E_g$ ). Это подтверждает влияние при формировании контакта приповерхностных дефектов, образующихся при нанесении металла [3]. Плотность прямого тока определяется уравнением  $J \approx J_0 \exp(qV/\beta kT)$ . Если толщина промежуточного диэлектрического слоя  $d \geq 3$  нм, то состояние равновесия ПЭС с металлом нарушается и вклад в величину  $\beta$  поверхностных состояний, находящихся в равновесии с полупроводником, становится преобладающим. Для вычисления изменения плотности ПЭС  $\Delta N_{\text{ss}}$  при адсорбции водорода в Pd-SiO<sub>2</sub>-Si-структуре, использовалось выражение [9]  $\beta \approx 1 + \delta/\epsilon_1 \cdot (\epsilon_s/w + qN_{\text{ss}})$ , где  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_s$  - диэлектрические проницаемости промежуточного диэлектрического слоя и полупроводника,  $w$  - ширина обедненного слоя (определяется по C-V характеристике). Вычисление значения  $\Delta N_{\text{ss}}$  дает величину  $10^{12}$  см<sup>-2</sup>эВ<sup>-1</sup>. Таким образом, адсорбция водорода может изменять плотность ПЭС на единицы процентов от общей величины ПЭС. Это тем более вероятно, поскольку изменение высоты потенциального барьера  $\Delta\phi_b \approx 0.024$  эВ составляет примерно 3% от высоты барьера до адсорбции ( $\phi_b \approx 0.78$  эВ). Такой вывод соответствует данным работы [8], где процессы поглощения газов в Pd-InP диодах объясняются изменением плотности ПЭС. Тем не менее, не принимать во внимание водородочувствительность вследствие изменения работы выхода палладия, по-видимому, нельзя, т.к. в противном случае природа контактного металла была бы несущественна. Высокая чувствительность к водороду имеет место лишь если для создания поверхностно-барьерной структуры используются Pd, Pt и некоторые другие металлы.

Изучение водородочувствительности проводилось нами также на Pd-n-Si-диодах с базой на основе кремния, компенсированного золотом ( $N_{\text{Au}} \approx 10^{14}$  см<sup>-3</sup>) таким образом, что глубина залегания уровня Ферми в квазинейтральной области  $E_F \approx 0.4$  эВ, т.е.  $V_D \approx 0.38$  эВ. На рис.3 показана ВАХ диода, снятая при  $T=77$  К до адсорбции водорода (гр.1). При подаче прямого смещения внешнее напряжение  $V$  распределяется между собственно поверхностно-барьерной областью ( $V_{\text{пб}}$ ) и базой диода ( $V_b$ ). При малом уровне инжекции  $V_{\text{пб}} < V_b$ , модуляция проводимости базы  $\sigma_b$  отсутствует и ВАХ линейна. С ростом уровня инжекции происходит модуляция  $\sigma_b$  инжектированными носителями, которая усиливается ростом биполярной дрейфовой подвижности, имеющей место в результате перезарядки глубоких акцепторных уровней золота в квазинейтральной области [10]. Происходит перераспределение внешнего смещения таким образом, что доля напряжения  $V_{\text{пб}}$  увеличивается, а доля  $V_b$  уменьшается. К потенциальному барьеру прикладывается большее смещение, ток инжекции дырок  $J_p$  растет, модуляция  $\sigma_b$  увеличивается и т.д. В конечном счете, такая положительная обратная связь может привести к инжекционному пробую. Если в результате какого-либо воздействия меняются

условия инжекции, то это изменение будет «отрабатываться» механизмом инжекционного усиления.

На графике 2 рис.3 приведена ВАХ диода после адсорбции водорода. Температура напуска водорода  $\sim 200$  К, температура измерений  $T=77$  К. При малом внешнем смещении зависимость  $J=f(V)$  по-прежнему омическая. Затем следует переход на сверхлинейный участок. При достаточно больших  $V$  через диод протекает ток, в 100 и более раз больший, чем до адсорбции водорода. Причина такого роста  $J$  заключается в снижении диффузионного потенциала  $V_D$  вследствие изменения работы выхода Pd, изменения плотности ПЭС на контакте Pd-Si и т.д., и проявлении инжекционного усиления. Как следует из рис.3, в предсрывной области отношение токов  $J_{H_2}/J_0 \approx 200$ , в то время как для «коротких» диодов (без инжекционного усиления) отношение токов  $J_{H_2}/J_0$  для той же температуры напуска водорода составляет  $\sim 60$ , так что чувствительность Pd-Si:Au-структур более, чем в 3 раза выше.

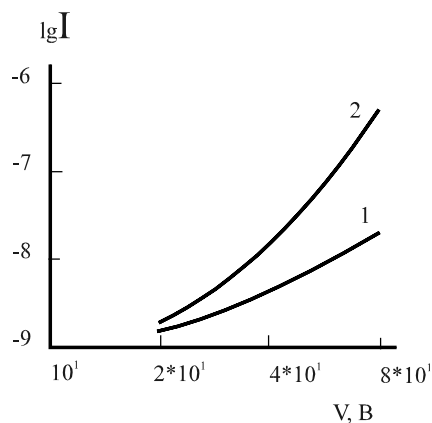


Рис.3. ВАХ «длинного» диода до (1) и после (2) адсорбции водорода

Важным условием реализации инжекционного усиления в ПЭС является обеспечение достаточно высокого коэффициента инжекции неосновных носителей заряда в базу при прямом смещении ( $\gamma=J_p/(J_n+J_p)$ ). Величина  $\gamma$  растет с увеличением тока. По мере увеличения напряжения  $V$ , в квазинейтральной области растет напряженность электрического поля  $E$ . В токе неосновных носителей преобладает дрейфовая компонента и  $\gamma \sim J$ . Росту  $\gamma$  в данном случае способствует высокое сопротивление базовой области. Определенную роль играет также диэлектрическая прослойка.

Механизм инжекционного усиления при адсорбции водорода можно представить в следующем виде. В результате поглощения водорода диффузионное напряжение  $V_D$  снижается. Высота барьера  $\phi_b$  для тока инжекции дырок остается практически неизменной. Однако уменьшение барьера для электро-

нов, экстрагируемых из объема полупроводника, способствует увеличению полного тока за счет компоненты  $J_n$ . Напряженность поля в базе возрастает, увеличивается коэффициент инжекции дырок  $\gamma$ . Модуляция сопротивления базы еще больше увеличивает ток.

Таким образом, инжекционные диоды на основе ПБС с палладиевым электродом могут служить чувствительными элементами для обнаружения водорода в газовой среде вплоть до температур  $T=100...120$  К. Температуру чувствительного элемента желательно поддерживать на уровне  $T=77$  К для обеспечения большей чувствительности (большой коэффициент инжекционного усиления). Испытание Pd-n-Si:Au-диода в условиях реакции  $N_2+H_2$ , когда парциальное давление водорода было меньше  $10^{-6}$ , показало, что этот диод может детектировать малое количество водорода в объеме или в потоке газа. В зависимости от парциального давления водорода время адсорбции изменяется.

#### Литература

1. Hydrogen in metals (ed. by G.Alefeld, J.Volue), Springer-Verlag, Berlin, 1978.
2. Zemel I.N. Analytical Chemistry // 1975. V.47, N.1, P. 255A-261.
3. С.Зи. Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984.
4. Гребенкин А.П., Делидович Г.Б. и др. // Электронная техника, Сер.3, Микроэлектроника. 1980. В.3(87). С. 28-32.
5. Стриха В.И., Бузанева Е.В., Радзиевский И.А. Полупроводниковые приборы с барьером Шотки.-М.: Сов. радио, 1974.
6. Галактионова Н.А. Водород в металлах.-М.: Металлургия, 1967.
7. Савицкий Е.М., Полякова В.П., Тылкина М.А. Сплавы палладия. М.: Наука, 1967.
8. Кулиев Б.Б., Лавелик Б. и др.// ФТП, 1983. Т.17, В.8, С. 1377-1379.
9. Стриха В.И. Контактные явления в полупроводниках. -Киев: Вища школа, 1982.
10. ЗалетаевН.Б., Никифорова В.П., Стафеев В.И. // ФТП, 1978. Т.12, В.9, С. 1719-1724.

## Именной указатель

### А

Алтоиз Б.А. 104; 159  
Асланов С.К. 118; 124

### Б

Барняк Е.М. 69; 108  
Блюхер Б. 95  
Буйко А.С. 69

### В

Вовчук Я.И. 82

### Г

Гавдзик А. 6; 149  
Гетманец В.Ф. 108  
Головко В.В. 86  
Градобоев А. 6  
Григоренко С. В. 56

### Д

Демьянчук Б.А. 104  
Дубровский В.В. 32

### З

Заславский В.М. 108  
Золотко А.Н., 82; 86

### К

Калинчак В.В. 114  
Карповский Е.Я. 108  
Копейка А.К. 86  
Курмашев Ш. 6; 149  
Курочкина Т.А. 75  
Колутаева О. 149  
Колутаева Т. 149

### Л

Лебедева Т.Н. 12  
Лебовка Н.И. 18  
Липатов Г.Н. 53  
Локотош Т.В. 25  
Любченко И.В. 138  
Ляхова Е.С. 159

### М

Макордей Р.И. 38  
Макордей Ф.В. 144  
Маломуж Н.П. 25  
Маргащук С. 6  
Маренков В.И. 128  
Морозов А.Н. 25

### О

Орловская С.Г. 75

### П

Подвысоцкий А.М. 32  
Полетаев Н.И. 82  
Полищук В.Е. 144  
Полищук И.В. 144  
Поповский А.Ю. 104  
Прудникова Ю.В. 114

### С

Садковский В.И. 75  
Семенцов А.М. 95  
Сидоров В.И. 41  
Софронков А. 6; 149  
Стручаев А.И. 46

### Т

Таволжанский В.М. 53  
Титов Д.В. 152  
Трофименко М.Ю. 79

**Ф**

Федчук А.П. 69; 108

**Ц**

Царенко А.П. 124  
Царгородская А.Б. 104  
Цыкало А.Л. 95

**Ч**

Чернова Е.А. 53  
Ческая Т.Ю. 12

**Ш**

Шевченко Г.Н. 144

**Шиманский Ю.И.** 18

Шкулипа С.А. 124

Шрайбер А. А. 63

**Штангеева Н.И.** 18

**Щ**

Щекатолина С. А. 56

**Ю**

Юрчук Н. 149

**Я**

Яровой Т.А. 82

Яценко В. П. 63

*Наукове видання*

**ФІЗИКА  
АЕРОДИСПЕРСНИХ  
СИСТЕМ**

**Випуск 37**

*Російською мовою*

Технічний редактор *М. М. Бушин*

---

Здано до набору 19.03.99. Підписано до друку 09.08.99. Формат 60x84/16.  
Папір друкарський. Гарнітура "Таймс". Друк офсетний.  
Ум. друк. арк.9,53. Тираж 300 прим. Зам. № 251.

Видавництво і друкарня "Астропринт"  
270026, м. Одеса, вул. Преображенська, 24.  
Тел. (0482) 26-98-82, 26-96-82.  
[www.astroprint.odessa.ua](http://www.astroprint.odessa.ua)