

# Forming of heterostructures on the base of cadmium—mercury—tellurium combinations in the semiconductor—electrolyte system

*V. B. Bogevolnov, A. M. Yafyasov, P. P. Konorov*  
 Physical Institute named by V. A. Fock of Saint-Petersburg University,  
 Saint-Petersburg, Petrodvoretz, Russia

*It is shown that heterostructures with perfect interface and small quantity of localized electronic states may be formed by way of the electrochemical modification of the solid solution cadmium—mercury—tellurium composition. Those structures may be used as photoelements and phototransformers with high photosensitivity in IR-spectral region.*

УДК 621.382.002

## Высокая наукоемкая серийная технология финишной очистки экранно-корпусного узла электронно-оптических преобразователей с прямым переносом изображения

*B. I. Loktionov, R. I. Bagduiev*  
 Открытое акционерное общество "Катод", г. Новосибирск, Россия

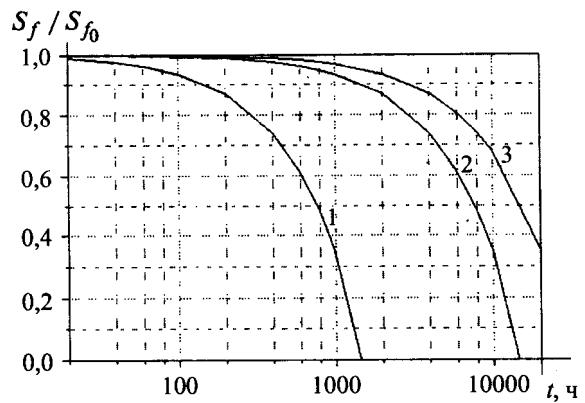
*Приведены зависимости срока службы электронно-оптических преобразователей (ЭОП) 3-го поколения без ионно-барьерной пленки (ИБП) от уровня остаточного электронно-стимулированного газовыделения (ОЭСГВ) из экранно-корпусного узла (ЭКУ). Проведен расчет уровня ОЭСГВ, обеспечивающего работоспособность ЭОП 3-го поколения без ИБП. Изложена технология высокой очистки ЭКУ ЭОП 3-го поколения с контролем уровня ОЭСГВ.*

### Необходимость высокоэффективного обезгаживания ЭКУ ЭОП

В ЭОП с прямым переносом изображения срок службы и шумы логически взаимосвязаны [1, 2]. В надежно герметизированных в условиях сверхвысокого вакуума ЭОПах фотокатоды в рабочем режиме подвергаются воздействию остаточных электронно-стимулированных газов из ЭКУ [2, 3]. Бомбардировка фотокатода положительными ионами вызывает ионно-электронную эмиссию, представляющую шумы [3, 4], а адсорбция выделяющихся из ЭКУ газов загрязняет поверхности Cs:O на GaAs фотокатоде [2]. Остаточные электронно-стимулированные газы из ЭКУ представляют в основном кислород, воду, водород, окись углерода и двуокись углерода [2], из которых активные газы обладают достаточно высоким коэффициентом прилипания. Активные газы интенсивно адсорбируются на поверхность фотокатода и по мере роста их количества оказывают воздействие на Cs:O, что приводит к падению чувствительности фотокатода. Авторами на базе теоретических и экспериментальных исследований получено теоретическое выражение, позволяющее определить уменьшение от времени экспозиции чувствительности фотокатода в зависимости от остаточного электронно-стимулированного газовыделения. При этом число

монослоев Cs:O принято равным  $\Pi_c \approx 1$ , а коэффициент прилипания молекул активных газов  $\gamma_a \approx 0,8$ .

На рис. 1 приведены полученные авторами расчетные зависимости падения чувствительности GaAs фотокатода в ЭОП без ИБП в рабочем режиме при трех значениях ОЭСГВ из ЭКУ.



*Рис. 1. Расчетные кривые падения чувствительности фотокатода в ЭОП с прямым переносом изображения в рабочем режиме  $i_{2e}=4 \cdot 10^{-6}$  при коэффициенте прилипания  $\gamma_a = 0,9$ :*  
 1 — в ЭОП с GaAs фотокатодом при электронно-стимулированном газовыделении ЭКУ  $n_i/n_e=10^{-3}$  ион/электрон;  
 2 — в ЭОП с GaAs фотокатодом при электронно-стимулированном газовыделении ЭКУ  $n_i/n_e=10^{-4}$  ион/электрон;  
 3 — в ЭОП с GaAs фотокатодом при электронно-стимулированном газовыделении ЭКУ  $n_i/n_e=5 \cdot 10^{-5}$  ион/электрон

На рис. 2 приведены расчетные зависимости падения чувствительности GaAs фотокатода в ЭОП с прямым переносом изображения без ИБП в зависимости от уровня ОЭСГВ.

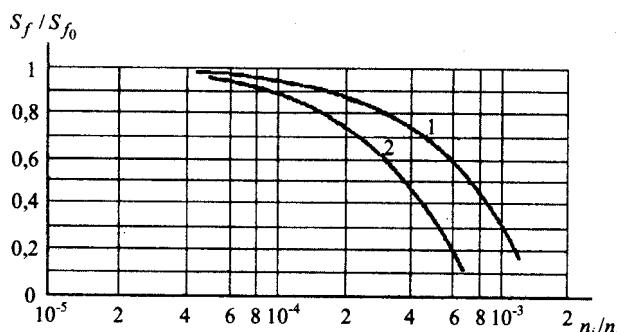


Рис. 2. Расчетные изменения чувствительности фотокатода в зависимости от уровня электронно-стимулированного газовыделения ЭКУ в ЭОП с GaAs фотокатодом в рабочем режиме:  
1 —  $10^3$  ч; 2 —  $2 \cdot 10^3$  ч

Приведенные зависимости показывают, что при изготовлении ЭОП с GaAs фотокатодом без ИБП с остаточным электронно-стимулированным газовыделением ЭКУ на уровне газовыделения ЭКУ ЭОП 2-го поколения, порядка  $n_i / n_e \approx 2 \cdot 10^{-4}$  ион/электрон (рис. 3) их работоспособность не превышает несколько сот часов [2]. Поэтому для обеспечения работоспособности ЭОП с GaAs фотокатодом на уровне и выше ЭОП 2-го поколения на входе микроканальной пластины (МКП) применяют ИБП, ослабляющую прохождение потока газов на фотокатод из ЭКУ более чем в 4 раза [2].

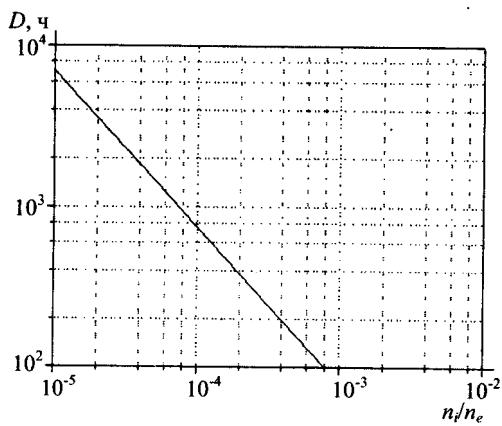


Рис. 3. Работоспособность ЭОП с GaAs-фотокатодом без ИБП в зависимости от уровня ОЭСГВ ЭКУ

Однако последнее приводит к потере фотоэлектронов и ухудшению отношения сигнал—шум. Для полного использования ресурса GaAs фотокатода в повышении параметров ЭОП с прямым переносом изображения необходимо изготавливать ЭОП с GaAs фотокатодом без ионнобарьерной пленки с ЭКУ с остаточным электронно-стимулированным газовыделением  $n_i / n_e <$

$< 5 \cdot 10^{-5}$  ион/электрон (см. рис. 3). В таких ЭОП обеспечивается не только долговечность, но и самое высокое отношение сигнал—шум вследствие максимального сбора фотоэлектронов, повышенной квантовой эффективности фотокатода и минимального ионного компонента в факторе шума [5].

### Определение ОЭСГВ ЭКУ ЭОП с прямым переносом изображения

Обезгаживание ЭКУ ЭОП с прямым переносом изображения производится на установке "переноса" серийного производства. В ней финишное обезгаживание ЭКУ ЭОП осуществляется в сверхвысоковакуумной (СВВ) камере электронной очистки и в ней же можно определить уровень ОЭСГВ каждого ЭКУ после завершения технологического процесса.

Определение производится в следующем порядке. На выходе каждого ЭКУ в режиме обезгаживания устанавливают заданную величину экранного тока —  $i_{\Sigma e}$  и отключают электронный поток на всех ЭКУ и измеряют давление остаточных газов в СВВ-камере обезгаживания электронной бомбардировкой —  $P_0$ . Затем включают электронный поток на вход одного из ЭКУ и снова измеряют давление в СВВ-камере —  $P_1$ . Количество выделившихся газов при включении электронного потока на вход одного ЭКУ равно

$$Q_1 = (P_1 - P_0)V_{eo} = \Delta PV_{eo},$$

где  $V_{eo}$  — объем СВВ-камеры обезгаживания электронной бомбардировкой, л;  $P_1$  и  $P_0$  — давления в СВВ-камере, Па.

При этом электронно-стимулированное газовыделение определяется из выражения

$$\frac{n_i}{n_e} = \frac{7,5 \cdot 10^{-3} V_{eo} (P_1 - P_0) N_m}{i_{\Sigma e} N_e},$$

где  $N_m$  — число молекул в одном тор-литре при комнатной температуре.

Для контроля ОЭСГВ ЭКУ в вышеуказанных пределах необходимо обеспечить измерение соответствующих изменений давлений остаточных газов в СВВ-камере обезгаживания электронной бомбардировкой

$$\Delta P = (P_1 - P_0) = \frac{n_i / n_e i_{\Sigma e}}{7,5 \cdot 10^{-3} V_{eo}}.$$

На рис. 4 приведены зависимости изменения давления остаточных газов в СВВ-камере обезгаживания ЭКУ электронной бомбардировкой с объемом  $V_{eo} = 16$  л для двух значений тока экрана ЭКУ  $I_{e1} = 10^{-6}$  и  $I_{e1} = 5 \cdot 10^{-6}$  А.

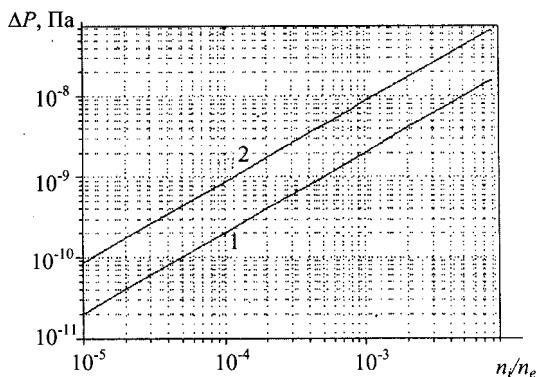


Рис. 4. Зависимости изменений давлений остаточных газов в СВВ-камере обезгаживания ЭКУ электронной бомбардировкой с объемом  $V_{eo} = 16$  л в случае тока экрана  $I_{e1}$ , равного:  
1 —  $10^{-6}$  А; 2 —  $5 \cdot 10^{-6}$  А

Долговечность ЭОП с прямым переносом изображения с GaAs фотокатодом и без ИБП более 1000 ч согласно рис. 3 обеспечивается при ОЭСГВ не более  $n_i/n_e < 6 \cdot 10^{-5}$  ион/электрон. Регистрация ОЭСГВ ниже  $n_i/n_e < 6 \cdot 10^{-5}$  ион/электрон вплоть до  $n_i/n_e \approx 10^{-5}$  ион/электрон требует измерения давлений остаточных газов  $P_0 \geq 2 \cdot 10^{-11}$  Па. К сожалению, стандартные приборы измерения давления газов ниже  $P < 10^{-8}$  Па отечественными предприятиями не выпускаются. Однако необходимость определения уровня ОЭСГВ ЭКУ в выпускаемых ЭОП обуславливает измерение вышеуказанных давлений газов низкого уровня в СВВ-технологических камерах в процессе производства. Измерение давления газов низких уровней может быть решено созданием специального стабильного измерителя малых токов, проградуированного образцовым вакуумметром. Наиболее точно можно определить ОЭСГВ ЭКУ квадрупольным масс-спектрометром, чувствительным до давления  $P = 10^{-11}$  Па. В этом случае может быть измерено не только интегральное, но и парциальное давление остаточных газов.

Таким образом, создание высокой технологии очистки ЭКУ требует определения уровня ОЭСГВ ЭКУ в процессе производства ЭОП.

### Технология эффективной очистки ЭКУ

Обезгаживание ЭКУ ЭОП с прямым переносом изображения до низкого уровня электронно-стимулированного газовыделения в процессе производства осуществляется комбинированным способом: предварительным термическим прогревом и последующей бомбардировкой рабочих поверхностей МКП и экрана электронным потоком [6]. Эффективное термическое обезгаживание создает предпосылки достижения низкого уровня электронно-стимулированного газовыделения после бомбардировки рабочих поверхно-

стей МКП и экрана в ЭКУ. Недостаточное обезгаживание ЭКУ при температуре  $T \approx 390—400$  °С не позволяет эффективно удалять остаточные газы электронной бомбардировкой из глубинных слоев поверхностей каналов МКП и экрана в приемлемые технологические циклы времени.

Статистика измерений давления газов в термической камере при обезгаживании группы ЭКУ 10 шт. в процессе их серийного производства показывает, что давление остаточных газов в конце термического обезгаживания при температуре  $T = 390—400$  °С находится в пределах  $P \approx 1—2 \cdot 10^{-5}$  Па. Это давление остаточных газов в термической камере обусловлено уровнем продолжающейся десорбции адсорбированных газов с поверхностей, в том числе с поверхности каналов МКП и экрана ЭКУ. Снижение температуры в термической камере означает прекращение обезгаживания поверхностей на достигнутом уровне. При снижении температуры в СВВ-термической камере до температуры, близкой к комнатной, давление газов падает до  $P \approx 10^{-7}$  Па вследствие прекращения десорбции газов с внутренних поверхностей ЭКУ и камеры (рис. 5).

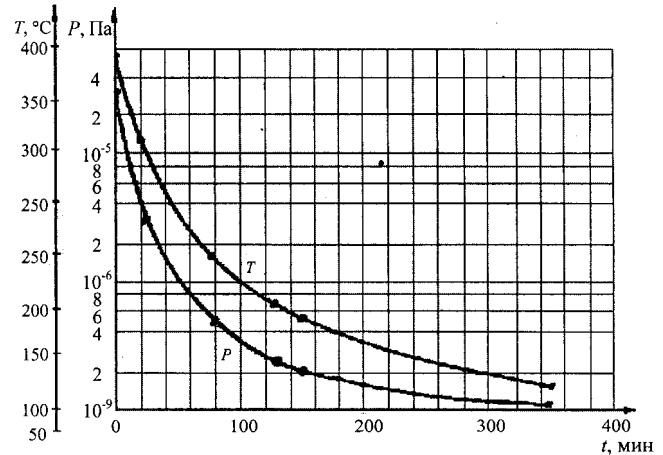


Рис. 5. Кинетика давления остаточных газов и температуры в СВВ-камере термического обезгаживания ЭКУ ЭОП после выключения электрического источника питания

Однако количество оставшихся газов на поверхностях экрана и МКП ЭКУ соответствует вышеуказанному давлению  $P \approx 1—2 \cdot 10^{-5}$  Па. После переноса кассеты с ЭКУ в СВВ-камеру обезгаживания электронной бомбардировкой начинается процесс дальнейшего обезгаживания каналов МКП и экрана бомбардировкой электронами с оставшегося количества газов после термического обезгаживания. При этом возникает вопрос, достаточно ли достигнутого термического обезгаживания для эффективного снижения ОЭСГВ электронной бомбардировкой. Зная неэквивалентность применяемых двух способов обезгаживания ЭКУ, в особенности при бомбардировке электронами малой энергии,

можно утверждать, что необходимо эффективное предварительное термическое обезгаживание.

Анализ кинетики давления остаточных газов в термической камере с момента выключения прогрева при  $T = 400^\circ\text{C}$  и перемещении кассет с обезгаживаемыми ЭКУ в СВВ-камеру обезгаживания электронной бомбардировкой до начала термического обезгаживания вновь загруженной группы ЭКУ (рис. 6) показывает, что достигаемый уровень давления остаточных газов в термической камере при  $T = 400^\circ\text{C}$  определяется не только скоростью откачки, но и количеством газов, поступающих в СВВ-термическую камеру. При загрузке обезгаживаемых ЭКУ через шлюзовую камеру при комнатной температуре в СВВ-термическую камеру поступает большое количество адсорбированных на кассете и в ЭКУ газов. Адсорбированные газы представляют в основном воду [7, 8], которая при малейшем подъеме температуры (см. рис. 6) начинает интенсивно выделяться в СВВ-термической камере (рис. 7). При этом в начальный период достаточно большое количество воды адсорбируется на внутренней поверхности термической камеры. В дальнейшем по мере откачки газов и подъема температуры в СВВ-камере происходит медленная десорбция газов со стенок в продолжительное время, не давая возможности эффективно снижать давление остаточных газов и тем самым затрудняя эффективное удаление газов с поверхностей каналов МКП и экрана ЭКУ.

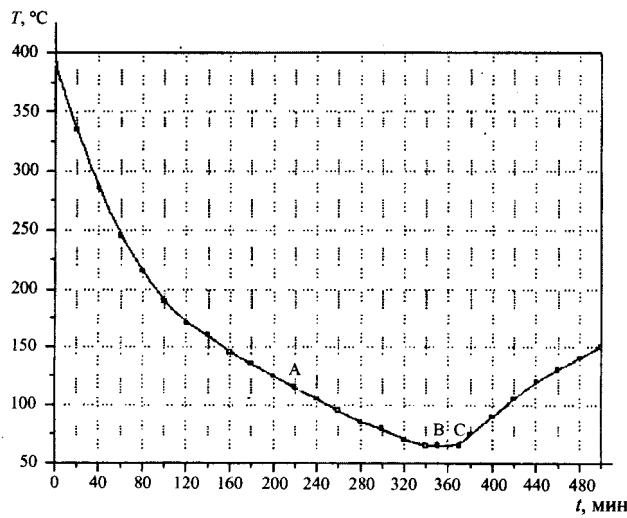


Рис. 6. Кинетика температуры в СВВ-термической камере после прекращения прогрева обезгаженных ЭКУ и в начальный период прогрева вновь загруженных ЭКУ:

А — точка перемещения кассеты с обезгаженными ЭКУ в СВВ-камеру сборки; В — точка загрузки новой кассеты с ЭКУ; С — точка начала прогрева новой кассеты

Одним из путей значительного снижения количества газов, в особенности воды, поступающей в СВВ-термическую камеру, является использование в установке переноса постоянно

прогретой до температуры  $T = 120—150^\circ\text{C}$  шлюзовой камеры. В этом случае внутренние поверхности прогретой шлюзовой камеры и шибера при их откачке практически не будут выделять воду. Более того, если в прогретой герметизированной шлюзовой камере выдержать кассеты с ЭКУ до приобретения температуры камеры, то будет удалено большое количество адсорбированной воды, а также  $\text{CO}_2$  на кассете и в ЭКУ до откачки шлюзовой камеры. Таким образом, загрузка ЭКУ из прогретой шлюзовой камеры приведет к существенному снижению количества воды и  $\text{CO}_2$  в СВВ-термической камере, и последующее обезгаживание ЭКУ позволит снизить давление остаточных газов в СВВ-термической камере при  $T = 400^\circ\text{C}$  ниже  $P_0 < 10^{-5}$  Па. Снижение общего давления в СВВ-термической камере удаляет части газов с поверхности МКП и экрана.

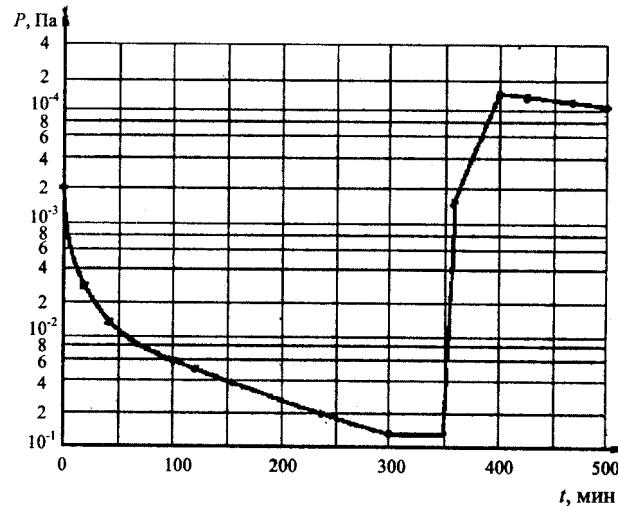


Рис. 7. Кинетика давления остаточных газов в СВВ-камере термического обезгаживания с момента выключения прогрева первой группы ЭКУ в процессе их перемещения из термической камеры до начала откачки термической камеры после загрузки следующей группы ЭКУ

Однако основная часть адсорбированной воды и  $\text{CO}_2$  из свинцового стекла, из которого изготовлен МКП, выделяется при температуре до  $T \approx 400^\circ\text{C}$  [9]. Последнее может затруднить снижение давления остаточных газов в СВВ-термической камере до  $P \approx 10^{-6}$  Па в пределах существующего цикла времени обезгаживания.

Дальнейшее существенное удаление адсорбированных газов из ЭКУ может быть достигнуто при двухстадийном термическом обезгаживании. Технология двухстадийного термического обезгаживания ЭКУ не просто увеличивает продолжительность прогрева, а позволяет проводить обезгаживание ЭКУ на второй стадии во второй СВВ-термической камере с более низким уровнем остаточных газов, что позволяет эффективно удалять остаточные газы с поверхностей

ЭКУ и довести давление остаточных газов до  $P \leq 1 \cdot 10^{-6}$  Па при  $T = 400$  °C.

Из кривых газовыделения свинцового стекла [9] видно, что при эффективном термическом обезгаживании ЭКУ при температуре  $T = 400$  °C в них остается малое количество адсорбированных газов. В этом случае дальнейшее обезгаживание ЭКУ электронной бомбардировкой может практически удалить не только адсорбированные газы, но и часть структурных приповерхностных газов. Поскольку электронная бомбардировка производится при низких энергиях электронов, для повышения эффективности обезгаживания целесообразно использовать более высокие плотности электрических потоков.

Высокая технология обезгаживания ЭКУ может обеспечить уровень остаточного электронно-стимулированного газовыделения ниже  $n_i/n_e < 4 \cdot 10^{-5}$  ион/электрон при условии низкой концентрации структурной воды [10]. Различными экспериментальными методами установлено, что такие газы, как  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$  и  $SO_2$ , растворяются в стекле в процессе его изготавления [11]. Пары воды составляют основную часть растворенного газа. Известен опыт снижения концентрации растворенных газов в стекле при длительном прогреве в вакууме при высокой температуре [12].

Исходя из изложенного можно заключить, что возможно изготовление ЭОП с прямым переносом изображения с GaAs фотокатодом без ионно-барьерной пленки на основе МКП, изготовленной либо из стекла вакуумной плавки, либо из других материалов с низким уровнем ОЭСГВ. В частности, являются перспективными поиски по созданию МКП на базе кремния [13].

*Авторы выражают благодарность инженеру В. В. Сельцу, проведшему экспериментальные измерения давлений остаточных газов и температуры в СВВ-термической камере в процессе перегрузки кассет с ЭКУ.*

### Л и т е р а т у р а

1. Howorth I. R., Holton R., Honoton A., Falas I. R., Palmer I. C.// Исследование ограничений характеристик усилителей яркости изображений 3-го поколения/ I. Vacuum 30. 1980. № 11. V. 12. P. 551–555.
2. Bender I. P.// Долговечные ЭОП 4-го поколения с беспленочной микроканальной пластиной/ Litton Electron Optical Systems (LEOS) Proceedings of SPIE, август 2000 г.
3. Достижения в технике передачи и воспроизведения изображений/ Под ред. Б. Кейзана. — М.: Мир, 1978. С. 76–77.
4. Соболева Н. А. Фотокатоды// Электроника и ее применение. Т. 6. С. 29.
5. Ronald L. Bell// Noise Figure of the MCP Image Intensifier Tube IEEE Transaction on Electron Device. V. ED-22. № 10. October. P. 821.
6. Багдуев Р.И. и др. Сверхвакуумные установки для изготовления фотоэлектронных приборов/ Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. "Состояние и перспективы развития вакуумной техники". Ч. II. — Казань, 1991. С. 101.
7. Hopson I. P.// Vac. Synchr. Trans. 1961. V. 8. № 26.
8. Dayton B.// Ibid. № 42.
9. Дэшман С. Научные основы вакуумной техники. — М.: Мир, 1964. С. 418.
10. Багдуев Р. И. Исследование ионной обратной связи в серийных ЭОП с прямым переносом изображения/ Тез. докл. XII науч.-техн. конф. "Пути развития телевизионных фотозелектронных приборов и устройств на их основе". — Санкт-Петербург, 2001. С. 110–112.
11. Уэтчен Дж. Техника сверхвысокого вакуума. — М.: Мир, 1988. С. 43.
12. Todd B. I. I.// Appl. Phys. 1955. V. 26. № 1238.
13. Charles Beetz P., Boerstler Robert, Steinbeck Jonn, Lemieux Bryan, Winn David R.// Silicon-micromachined microchannel plates/ Nuclear Instr. And Meth in Physics Research. 2000. A 442. P. 443–451.

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2004 г.

## High science technology of final screen-body assembly (SBA) cleaning of proximately focused image intensifier tubes ( $I^2$ )

V. I. Loktionov, R. I. Bagduev

Joint Stock Company "Katod", Novosibirsk, Russia

*In this paper the life time of the 3<sup>d</sup> generation  $I^2$  without IBF dependence upon residual electron-stimulated outgassing (RESO) from SBA is presented. The calculation of RESO level is made which insures the 3<sup>d</sup> generation  $I^2$  without ion-barrier film (IBF) efficiency. The high cleaning of SBA of the 3<sup>d</sup> generation- $I^2$  technology with RESO level monitoring is described.*