

## Designing and growth of photosensitive structures on basis of MCT MBE for infrared devices

*Yu. G. Sidorov, S. A. Dvoretzky, N. N. Mikailov, M. V. Yakushev, V. S. Varavin, V. V. Vasiliev, A. O. Suslyakov, V. N. Ovsyuk*  
Institute of Semiconductor Physics SB RAS, Novosibirsk, Russia

*There has been developed and produced the molecular beam epitaxy (MBE) machine with integrated analytical equipment control for growth of  $A^2B^6$  included mercury contained compounds. The technology of mercury cadmium telluride (MCT) heteroepitaxial structures (HS) growth by MBE with given composition distribution throughout the thickness has been developed. HS's MCT MBE on CdZnTe/GaAs were constructed and growing with varigap layers on interfaces of MCT film. These HS MCT MBE were used for fabricating high quality single and multi-elements photoresistors and photodiodes operated in wavelength range 3—5 and 8—12  $\mu\text{m}$  and up to 20  $\mu\text{m}$  and over at 77 K and 200–250 K. The widegap layers at interfaces of MCT film was used as a passivant. The narrowgap layer at interface of MCT film — buffer layer was used for decreasing of serial resistance of diodes. The HS's MCT MBE with special composition distribution throughout the thickness were used for decreasing of dark current of diodes operated at near 200 K.*

УДК 621.383.8

## Аналитическое исследование процесса регистрации потока излучений в ЭОП с МКП

*Р. И. Багдугев*  
ОАО "Катод", Новосибирск, Россия

*Ток электронного потока, бомбардирующего люминесцентный экран ЭОП с микроканальной пластиной (МКП) и прямым переносом изображения, создается усиленным потоком электронного изображения, адекватным поступающему на фотокатод потоку излучения изображения. Яркость свечения изображения на экране прямо пропорциональна этому току. Однако в реальных ЭОП люминесцентный экран подвергается бомбардировке электронными потоками, инициированными не только регистрируемым изображением, но и дополнительными электронными потоками, рожденными побочными физическими процессами, сопровождающими основные и ухудшающими качество изображения на экране. В результате аналитического исследования представлена математическая модель суммарного электронного тока, образованного основными функциональными и побочными физическими процессами. Модель устанавливает вклад всех физических процессов, в том числе побочных, в суммарный ток. Из модели вытекает вывод о необходимости подавления побочных физических процессов для повышения качества изображения на экране ЭОП. Снижение и подавление влияния побочных физических процессов могут быть достигнуты оптимизацией конструктивных элементов ЭОП и высоким уровнем технологического исполнения в процессе изготовления.*

Дальность видения оптоэлектронного прибора на базе ЭОП в основном определяется параметрами последнего [1]. В последнее время развитие ЭОП

шло в направлении уменьшения их габаритов при одновременном повышении их важнейших характеристик [3, 4]. Развитие технологии сборки методом переноса [8, 10, 11] привело к созданию плоских малогабаритных ЭОП с фотокатодами высокой чувствительности [4, 6]. В них раздельное изготовление фотокатода и специфическое конструктивное исполнение прибора повысили чувствительность многощелочного фотокатода от  $S_{\text{ф}} \approx 300$  мкА/лм в ЭОП нулевого и первого поколений до  $S_{\text{ф}} \approx 600 \div 700$  мкА/лм в ЭОП 2<sup>+</sup> поколения, а в ЭОП третьего поколения — до 2300 мкА/лм.

Применение в этих ЭОП в качестве усилительного элемента МКП с диаметром каналов  $\varnothing_{\text{к}} = 5 \div 6$  мк и с межцентровым расстоянием  $L_{\text{ц}} < 6 \div 7$  мк, а также применение экрана на волоконно-оптической планшайбе (ВОП) с диаметром волокна  $\varnothing_{\text{в}} < 5 \div 6$  мк и межцентровым расстоянием  $L_{\text{ц}} < 6 \div 7$  мк повышают предельное их разрешение и создают предпосылки для обеспечения их высокого рабочего разрешения.

Для реализации вышеприведенных конструктивных возможностей основных элементов в целях обеспечения высокого рабочего разрешения в этих ЭОП проведено аналитическое исследование физических процессов, в том числе паразитных, повышающих фоновый уровень и шумы на экране и зависящих от конструктивных и технологических исполнений при их изготовлении.

### Токи электронных потоков, бомбардирующих люминесцентный экран ЭОП в процессе регистрации им изображения

ЭОП 2<sup>+</sup> и 3-го поколений содержат усилительный элемент — микроканальную пластину, расположенную параллельно между плоскими фотокатодом и экраном. При регистрации ими изображения фотокатод преобразовывает излучения изображения в адекватное электронное изображение. Поток этих фотоэлектронов поступает на вход МКП, имеющий положительный потенциал относительно фотокатода. Фотоэлектроны умножаются в каналах МКП и под действием положительного потенциала, поданного на выход МКП относительно его входа, передвигаются к выходу. Электроны с выхода МКП, ускоренные положительным потенциалом экрана, бомбардируют его поверхность, проходят сквозь алюминиевое покрытие и возбуждают катодлюминофоры [4].

Таким образом, люминесцентный экран преобразовывает электронное изображение в адекватное световое изображение. Яркость свечения изображения прямо пропорциональна току электронного потока, инициированного только излучениями изображения:

$$i_{\text{и}} = \Phi_{\text{и}} S_{\text{ф}} \theta t, \quad (1)$$

где  $\Phi_{\text{и}}$  — поток излучения изображения;  
 $S_{\text{ф}}$  — интегральная чувствительность фотокатода;  
 $\theta$  — открытая часть МКП;  
 $t$  — средний коэффициент усиления МКП.

Для достижения высокого уровня тока от слабых излучений изображения следует применять фотокатоды многощелочные с чувствительностью более  $S_{\text{ф}} > 500 \div 600$  мкА/лм, а арсенидгаллиевые — с чувствительностью более  $S_{\text{ф}} > 1500 \div 1800$  мкА/лм.

Повысить уровень тока от слабых излучений изображения можно, применив в ЭОП МКП с большей площадью открытой части  $\theta > 0,6 \div 0,7$  и в режиме больших усиления.

Повышению яркости свечения изображения на экране ЭОП от слабых излучений изображения также способствует применение в экране люминофора с высоким коэффициентом преобразования.

Четкость воспроизводимого изображения на экране ЭОП зависит от предельного разрешения МКП и экрана и от степени подавления паразитных электронных потоков, снижающих контраст изображения и отношение сигнал/шум [2]. Для обеспечения высокого рабочего разрешения в ЭОП 2<sup>+</sup> и 3-го поколений необходимо применение МКП и экранов с высоким предельным разрешением.

Однако даже в случае применения в ЭОП основных конструктивных элементов с высокими параметрами может быть не достигнуто высокое рабочее разрешение, если в них сильно влияние сопутствующих побочных физических процессов, порождающих паразитные электронные потоки.

В реальном ЭОП в рабочем режиме его экран бомбардирует суммарный поток электронов, инициированных излучениями изображения и побочными физическими процессами [12], суммарный электронный ток которых в цепи экрана равен:

$$i_{\Sigma_0} = i_{и} + i_{у\text{тф}} + i_{у\text{аф}} + i_{\text{тм}} + i_{\text{эл}} + i_{\text{ом}} + i_{\text{ос}} + i_{\text{оо}} + i_{\text{ов}} + i_{\text{ои}}, \quad (2)$$

- где  $i_{и}$  — ток регистрируемого изображения;  
 $i_{у\text{тф}}$  — усиленный ток термоэмиссии фотокатода;  
 $i_{у\text{аф}}$  — усиленный ток автоэмиссии фотокатода;  
 $i_{\text{тм}}$  — темновой ток МКП;  
 $i_{\text{эл}}$  — ток свечения полупроводниковой поверхности корпуса в промежулке МКП—экран;  
 $i_{\text{ом}}$  — ток отражения от торцевой поверхности МКП потока излучения изображения;  
 $i_{\text{ос}}$  — ток, вызванный поглощением части потока излучений изображения, попадающего на фотокатод в результате многократного отражения сначала от фотокатодной поверхности, а затем — от границы стекло—воздух;  
 $i_{\text{оо}}$  — ток обратной оптической связи экран—фотокатод;  
 $i_{\text{ов}}$  — ток обратной оптической связи возбужденных молекул в промежулке вход МКП—экран;  
 $i_{\text{ои}}$  — ток обратной ионной связи.

В сумме (2) единственно полезным током является ток регистрируемого изображения. Все остальные токи представляют паразитные токи, рожденные побочными физическими процессами, сопровождающими процесс преобразования регистрируемого изображения. Качество воспроизводимого на экране ЭОП-изображения зависит от уровня подавления побочных физических процессов.

### **Математическая модель образования суммарного тока электронных потоков физическими процессами, участвующими в регистрации изображения ЭОП**

Все паразитные токи, рожденные побочными физическими процессами, сопровождающими процесс преобразования регистрируемого изображения, могут быть разделены на три группы.

К первой группе можно отнести токи электронных потоков, возникающих в ЭОП в темновом режиме. К физическим процессам, рождающим электрон-

ные потоки в ЭОП в темновом режиме, относятся термо- и автоэмиссия, темновая эмиссия МКП и электролюминесценция поверхности корпуса.

Все фотокатоды обладают термоэмиссией [5]. Уровень термоэмиссии зависит от структуры материалов фотокатода и температуры. При комнатной температуре у современных катодов ток термоэмиссии обычно невелик, растет с ростом температуры [5—7]. Пренебречь им можно только до некоторой температуры. При включении ЭОП в рабочий режим на его экран проходит в общем потоке поток электронов термоэмиссии фотокатода, усиленный ток которого равен

$$i_{\text{утф}} = i_{\text{тф}} \theta m, \tag{3}$$

где  $i_{\text{тф}}$  — ток термоэмиссии фотокатода.

В ЭОП с прямым переносом изображения для обеспечения необходимого разрешения изображения устанавливают МКП на малом расстоянии от фотокатода. В них ток автоэмиссии  $i_{\text{аф}}$  может резко возрасти при наличии на фотокатодной поверхности микровыступов: посторонних частиц, пыли вследствие роста напряженности поля [17, 18]. Аналогично термоэмиссии, на экран проходит усиленный ток автоэмиссии:

$$i_{\text{утф}} = i_{\text{аф}} \theta m, \tag{4}$$

где  $i_{\text{аф}}$  — ток автоэмиссии фотокатода.

В отсутствие умножаемых электронов на входе МКП с ее выхода проходит на экран темновой ток МКП —  $i_{\text{тм}}$ .

Он определяется качеством изготовления МКП, обычно невелик, растет с ростом потенциала на МКП, т. е. с увеличением усиления.

На внутренней полупроводниковой поверхности корпуса ЭОП в промежутке МКП—экран при неравномерности покрытия возрастает напряженность электрического поля, что может инициировать свечение [14, 16, 17]. Излучение свечения проходит на фотокатод. Эмитированные при этом фотоэлектроны умножаются МКП и затем ускоренные полем бомбардируют поверхность экрана. Ток в цепи экрана, инициированный свечением, пропорционален потоку излучений:

$$i_{\text{эл}} = \Phi_{\text{л}} S_{\text{ф}} \theta m, \tag{5}$$

где  $\Phi_{\text{л}}$  — поток излучения электролюминесценции, зависящий от напряженности электрического поля и адсорбции газов.

Таким образом, в темновом режиме ЭОП, когда на фотокатод не поступает излучение, все вышеприведенные побочные физические процессы образуют в цепи экрана истинно темновой ток —  $i_{\text{т}}$  [12]:

$$i_{\text{т}} = i_{\text{утф}} + i_{\text{уаф}} + i_{\text{тм}} + i_{\text{эл}}. \tag{6}$$

Бомбардировка экрана потоком электронов, образующих истинно темновой ток, приводит к возникновению темнового фона экрана. Чем больше влияние вышеуказанных побочных физических процессов, тем больше истинно темновой ток и темновой фон экрана —  $\Phi_{\text{т}}$ .

Для повышения качества воспроизводимого изображения на экране очевидна необходимость подавления темновых эмиссий электронов.

Однако подавление влияния побочных физических процессов, образующих истинно темновые токи, т. е. снижение уровня истинно темнового тока, является необходимым, но недостаточным условием повышения качества воспроизводимого изображения на экране. Низкий уровень темнового фона экрана ЭОП недостаточен для обеспечения высокого рабочего разрешения.

Ко второй группе паразитных токов относятся токи электронных потоков, возникающих в ЭОП в рабочем режиме с момента поступления излучений на фотокатод.

Известно, что не весь поток поступающего на фотокатод излучения поглощается фотокатодной структурой и создает эмиссию фотоэлектронов [5]. Часть поступающего потока излучения проходит сквозь полупрозрачный фотокатод [13]. Проведенные измерения оптической зависимости коэффициентов пропускания  $T$  от длины спектральной характеристики многощелочного и арсенидгаллиевого фотокатодов обнаруживают рост их пропускания по мере роста длины волны. Средний коэффициент пропускания  $T_c$  потока излучений фотокатодами колеблется от 20 до 30 %. Часть прошедшего сквозь фотокатод излучения отражается от торцевой поверхности МКП и обратно поступает на фотокатод. Ток, проходящий на экран от этого отраженного излучения изображения, равен

$$i_{от} = \Phi_{и} T_{ф} R_{м} S_{ф} \theta m, \quad (7)$$

где  $\Phi_{и} T_{ф}$  — часть потока излучения изображения, прошедшего сквозь фотокатод;

$R_{м}$  — коэффициент отражения потока излучения изображения торцевой поверхности МКП.

Часть поступающего на фотокатод потока излучения изображения отражается от фотокатодной поверхности. Измерение в образцах ЭОП коэффициентов отражения, поступающего на фотокатод потоков излучений, выявило среднее его значение для многощелочного фотокатода  $R_{ф} < 0,16 \div 0,18$ , а для арсенидгаллиевого —  $R_{ф} < 0,05 \div 0,08$ .

Часть этого отраженного потока излучений в процессе последующих многократных отражений от поверхности стекла и фотокатода снова поступает на фотокатод. Ток, инициированный этим потоком рассеянных излучений, может быть выражен соотношением

$$i_{ос} = \Phi_{и} \sum_{n=1}^{n=N} R_{ф}^n R_{с}^n S_{ф} \theta m, \quad (8)$$

где  $R_{ф}$  — коэффициент отражения, поступающего на фотокатод излучений, от поверхности фотокатода;

$R_{с}$  — коэффициент отражения потока излучений на границе стекло—воздух.

Токи (7) и (8), образованные отраженными потоками излучения изображения, повышают на экране ЭОП фоновые засветки в рабочем режиме и ухудшают контраст.

Третью группу токов паразитных электронных потоков рожают любые токи, проходящие на экран ЭОП, и интенсивность развития этих физических процессов пропорциональна этому току. В рабочем режиме ЭОП возникают обратные связи, пропорциональные суммарному электронному току —  $i_{\Sigma}$ .

ЭОП является электровакуумным прибором, и токи сквозь него проходят в виде электронных потоков. В процессе прохождения электронов от фотокатода к экрану имеет место столкновение электронов с молекулами газа [15]. При этом происходит ионизация и возбуждение молекул и атомов остаточных газов. Образовавшиеся в результате ионизации положительные ионы направляются на выход МКП и на фотокатод и бомбардируют входную поверхность каналов МКП и поверхность фотокатода. При этом при неупругих соударениях электронов с атомами поверхностей возникает ионно-электронная

эмиссия. Последняя образует в цепи экрана электронный ток обратной ионной связи. Он прямо пропорционален суммарному электронному току —  $i_{\Sigma_3}$ , давлению остаточных газов —  $P$  и коэффициенту ионно-электронной эмиссии бомбардируемых поверхностей, в основном фотокатода —  $\sigma_{\phi}$ :

$$i_{он} = A i_{\Sigma_3} \sigma_{\phi} P \theta, \tag{9}$$

где  $A$  — постоянная ионизация, зависящая от потенциала электродов, расстояния между электродами и состава газа.

Часть атомов, возбужденных при их столкновениях с электронами, может излучать энергию, пропорциональную суммарному электронному току —  $i_{\Sigma_3}$  и давлению остаточных газов [14]:

$$i_{ов} = B i_{\Sigma_3} P S_{\phi} \theta m, \tag{10}$$

где  $B$  — постоянная, зависящая в основном от вероятности возбуждения [14].

В ЭОП 2<sup>+</sup> и 3-го поколений в режиме больших усилений может иметь место обратная оптическая связь экрана с фотокатодом [12]. Электронный ток, образованный в цепи экрана этой связью, прямо пропорционален суммарному току —  $i_{\Sigma_3}$ :

$$i_{оо} = i_{\Sigma_3} (U_{\varepsilon} - U_0) \gamma_{\varepsilon} \pi \eta_a \eta_m S_{\phi} \theta m, \tag{11}$$

где  $U_{\varepsilon}$  — напряжение между экраном и выходом МКП;

$U_0$  — потенциал прохождения электронов сквозь алюминиевое покрытие;

$\gamma_{\varepsilon}$  — коэффициент светоотдачи люминофора;

$\pi$  — коэффициент потока излучений с экрана;

$\eta_a$  — коэффициент прозрачности экрана;

$\eta_m$  — коэффициент прозрачности МКП.

Теперь, если в сумме (2) заменим токи соответствующими выражениями из (1)–(11), то получим математическую модель суммарного тока электронных потоков, образованных физическими процессами, участвующими в регистрации изображения ЭОП:

$$i_{\Sigma_3} = \frac{\Phi_{и1} S_{\phi} \theta m + (i_{аф} + i_{тф}) \theta m + i_{тм} + \Phi_{эл} S_{\phi} \theta m + \Phi_{и1} T_{\phi} R_m S_{\phi} \theta m + \Phi_{и1} \sum_{n=1}^{n=N} R_{\phi}^n R_c^n S_{\phi} \theta m}{1 - [(I_{\varepsilon} - I_0) \gamma_{\varepsilon} \pi \eta_a \eta_m S_m \theta m + B P S_{\phi} \theta m + A \sigma_{\phi} P \theta m]} \tag{12}$$

Математическая модель отражает многочленность физических процессов, порождающих электронные потоки, бомбардирующие экран ЭОП, и их взаимосвязь. Достаточно большая группа побочных процессов образует истинно темновой ток ЭОП:

$$i_{т} = (i_{аф} + i_{тф}) \theta m + i_{тм} + \Phi_{эл} S_{\phi} \theta m. \tag{13}$$

Однако в случае развития обратных связей, когда

$$[(I_{\varepsilon} - I_0) \gamma_{\varepsilon} \pi \eta_a \eta_m S_m \theta m + B P S_{\phi} \theta m + A \sigma_{\phi} P \theta m] > 0,$$

реальный темновой ток ЭОП окажется отличным от его истинно темнового тока  $i_t$  имеем:

$$i_{\Sigma_t} = \frac{(i_{аф} + i_{тф}) \theta m + i_{тм} + \Phi_{эл} S_{\phi} \theta m}{1 - [(I_{\varepsilon} - I_0) \gamma_{\varepsilon} \pi \eta_a \eta_m S_m \theta m + B P S_{\phi} \theta m + A \sigma_{\phi} P \theta m]} \tag{14}$$

Следовательно, в реальном ЭОП уровень темнового тока зависит не только от истинно темновых электронных эмиссий, но и от обратных связей.

Из модели также видно, что поступающее на фотокатод излучение рождает не только полезный поток электронов, но и паразитные потоки:

$$i_{\text{ип}} = \Phi_{\text{и}} T_{\text{ф}} R_{\text{м}} S_{\text{ф}} \theta m + \Phi_{\text{и}} \sum_{n=1}^{n=N} R_{\text{ф}}^n R_{\text{с}}^n S_{\text{ф}} \theta m. \quad (15)$$

Если присутствие темнового тока более очевидно хотя бы по яркости фона экрана ЭОП в темновом режиме и есть возможность измерить его уровень в цепи экрана, то оценить вклад паразитных потоков электронов, инициированных самим регистрируемым изображением, представляет определенную трудность. Даже в случае, когда суммарный темновой ток бесконечно мал  $i_{\Sigma_{\text{т}}} \approx 0$ , соответственно уровень фона экрана ЭОП крайне низок, вклад паразитных потоков электронов, рожденных самим изображением в рабочем режиме в суммарный электронный ток, может оказаться существенным:

$$i_{\text{ип}} = \Phi_{\text{и}} S_{\text{ф}} \theta m + \Phi_{\text{и}} T_{\text{ф}} R_{\text{м}} S_{\text{ф}} \theta m + \Phi_{\text{и}} \sum_{n=1}^{n=N} R_{\text{ф}}^n R_{\text{с}}^n S_{\text{ф}} \theta m \quad (16)$$

и яркость фона экрана в рабочем режиме высокой.

В результате рассеянные потоки отраженных излучений ухудшают контраст изображения на экране.

Как видно из модели суммарного электронного тока (12), развитие обратных связей, когда суммарный ток обратной связи больше нуля

$$i_{\Sigma_{\text{оc}}} = \left[ (I_{\text{э}} - I_{\text{о}}) \gamma_{\text{э}} \pi \eta_{\text{а}} \eta_{\text{м}} S_{\text{ф}} \theta m + BPS_{\text{ф}} \theta m + A\sigma_i P\theta m \right] > 0, \quad (17)$$

истинно темновой ток ЭОП (6) и токи, рожденные регистрируемым изображением в рабочем режиме (1), (7) и (8), возрастают в

$$\frac{1}{1 - \left[ (I_{\text{э}} - I_{\text{о}}) \gamma_{\text{э}} \pi \eta_{\text{а}} \eta_{\text{м}} S_{\text{ф}} \theta m + BPS_{\text{ф}} \theta m + A\sigma_i P\theta m \right]} \text{ раз.}$$

Вероятность развития обратных связей возрастает в режиме усиления слабых изображений и сигналов, когда в ЭОП повышается коэффициент преобразования.

Если из суммарного электронного тока экрана ЭОП (12) вычесть ток регистрируемого изображения (1), то получим суммарный паразитный электронный ток экрана в рабочем режиме

$$i_{\Sigma_{\text{э}}} = \frac{(i_{\text{аф}} + i_{\text{тф}}) \theta m + i_{\text{тм}} \Phi_{\text{эл}} S_{\text{ф}} \theta m + \Phi_{\text{и}} T_{\text{ф}} R_{\text{м}} S_{\text{ф}} \theta m + \Phi_{\text{и}} \sum_{n=1}^{n=N} R_{\text{ф}}^n R_{\text{с}}^n S_{\text{ф}} \theta m +}{1 - \left[ (I_{\text{э}} - I_{\text{о}}) \gamma_{\text{э}} \pi \eta_{\text{а}} \eta_{\text{м}} S_{\text{ф}} \theta m + BPS_{\text{ф}} \theta m + A\sigma_i P\theta m \right]} \quad (18)$$

$$+ \frac{\Phi_{\text{и}} E_{\text{ф}} \theta m \left[ (I_{\text{э}} - I_{\text{о}}) \gamma_{\text{э}} \pi \eta_{\text{а}} \eta_{\text{м}} S_{\text{ф}} \theta m + BPE_{\text{ф}} \theta m + A\sigma_i P\theta m \right]}{1 - \left[ (I_{\text{э}} - I_{\text{о}}) \gamma_{\text{э}} \pi \eta_{\text{а}} \eta_{\text{м}} S_{\text{ф}} \theta m + BPS_{\text{ф}} \theta m + A\sigma_i P\theta m \right]}$$

Из модели образования суммарного паразитного электронного тока экрана в рабочем режиме ЭОП видно, что в генерации паразитных электронных потоков участвуют большое количество побочных физических процессов и поток электронов самого изображения, если в нем развиты обратные связи. Кон-

траст изображения и шумы на экране ЭОП с МКП и прямым переносом изображения в значительной мере зависят от уровня электронного потока, образующего суммарный паразитный электронный ток. Однако вклад разных побочных физических процессов в суммарный электронный ток неодинаков. Зависит он от совершенства конструкции элементов и всего ЭОП, технологической точности исполнения и режима работы. Некоторые побочные физические процессы вносят вклад в суммарный электронный ток только в рабочем режиме, что осложняет их обнаружение, а другие — рождают паразитный ток и в темновом режиме, когда  $\Phi_{\text{и}} = 0$ .

### Выводы

1. Модель образования суммарного электронного тока в цепи экрана электронными потоками, бомбардирующими экран ЭОП, отражает зависимость образования тока не только от потоков, инициированных регистрируемым изображением, но и зависимость его от потоков, рождаемых сопровождающими побочными физическими процессами.

2. Лишь оптимальность и совершенство конструкции элементов и самого ЭОП и прогрессивная технология изготовления элементов и сборки всего ЭОП [9] подавляют вклад побочных физических процессов в суммарный электронный ток электронного потока, воспроизводящего изображение на экране.

3. Высокий уровень основных элементов ЭОП: фотокатода, МКП и экрана — необходимое, но недостаточное условие для достижения высокого рабочего разрешения. Для достижения высокого рабочего разрешения в ЭОП в дополнение к применению основных элементов с высоким уровнем параметров необходимо обеспечить оптимальность и совершенство конструкции всех элементов и высокий уровень технологии сборки ЭОП, снижающих и исключаящих вклад сопутствующих физических процессов в преобразование регистрируемого изображения.

### Литература

1. Изнар А. Н. Электронно-оптические приборы. — М.: Машиностроение, 1977.
2. Pollehn J. K. Optical Engineering//January/February, 1982. Vol. 21. № 1.
3. Берковский А. Г., Гаванин В. А., Зайдель И. Н. Вакуумные фотоэлектронные приборы. — М.: Энергия, 1976.
4. Берковский А. Г., Гаванин В. А., Зайдель И. Н. Вакуумные фотоэлектронные приборы. — М.: Радио и связь, 1988.
5. Солмер А. Фотоэмиссионные материалы. — М.: Энергия, 1973.
6. Белл Р. Л. Эмиттеры с отрицательным средством. — М.: Энергия, 1978.
7. Соболева Н. А. Фотокатоды. — М.: Электроника и ее применение. 1975. Т. 6. С. 5—48.
8. Костин А. Б., Филимонова Т. А. Технологические установки для изготовления фотоэлектронных приборов методом переноса//Итоги науки и техники. — М., 1983. Т. 15. С. 217—254.
9. Багдурев Р. И., Гольдберг И. И. Прогрессивная технология сборки ФЭП с мультищелочным фотокатодом методом переноса: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. "Состояние и перспективы развития вакуумной техники". Ленинград, 1990.
10. Анашин В. В., Багдурев Р. И., Бесчастнов П. И., Гольдберг И. И., Мироненко Л. А., Поляков Ю. В., Понеделько В. Н. Сверхвысоковакуумная установка для изготовления фотоэлектронных приборов методом "переноса": Там же.
11. Багдурев Р. И., Гольдберг И. И., Овчинников А. А., Поляков Ю. В., Понеделько В. Н., Романов В. А. Сверхвысоковакуумные установки для изготовления фотоэлектронных приборов: Там же.

12. Багдурев Р. И., Гольдберг И. И. Токи шума в ЭОП с прямым переносом изображения, инициированные побочными физическими процессами: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. "Состояние и перспективы развития вакуумной техники". Ленинград, 1990.
13. Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках. — М.: Мир, 1973.
14. Капцов Н. А. Электрические явления в газах и вакууме. — М.: Гос. изд. технико-теоретической литературы, 1950.
15. Багдурев Р. И. Исследования и подавления обратных связей в фотоэлектронных приборах: Дис. на соискание степени канд. физ.-мат. наук. Новосибирск, 1988.
16. Левин Г. Основы вакуумной техники. — М.: Энергия, 1969.
17. Сликов И. Н. Электроизоляция и разряд в вакууме. — М.: Атомиздат, 1972.
18. Буц В. П., Железков М. Г., Юриков М. М. Вакуумные конденсаторы. — Л.: Энергия, 1971.

## Analytical research of the process radiation flux registration in the MCP-image intensifier tube

R. I. Bagdurev

J-St "Katod", Novosibirsk, Russia

*The current of electron flux, impinging phosphor screen of the MCP-image intensifier tube with profimily focusing, is produced by amplified flux of electron image, that corresponds radiation flux stiked to the photocathode. Screen luminance is proportional to this current. However, in real tube, phosphor screen is subjected to bombardment of electron fluxes, that initiated not only by received image, but addotional electron fluxes, that are produced by collateral physical processes, acompaning main, and degrading image quality. In result of analytical research is presented mathematic model of summarized electron current, produced by both main and collateral physical processes. This model estimates a part of all physical processes to summarized current. From this model be conclude of about necessary of collateral physical processes suppression to enhance image quality on tube screen. Decreased and suppression collateral physical processes influence may be reached due design elements optimization and high level of technological operation.*