

УДК 621.383.8

Мелкоструктурные микроканальные пластины для техники ночного видения

С. К. Кулов, С. А. Кесаев, Е. Н. Макаров, Ю. Л. Пергаменцев,
Н. В. Бершвили, В. Ю. Бояджиди, А. Б. Попугаев, Т. В. Полина
ООО «Владикавказский технологический центр "Баспик"», г. Владикавказ, Россия

В последние годы актуальным стал вопрос разработки, производства и применения в электронно-оптическом преобразователе (ЭОП) мелкоструктурных микроканальных пластин (МКП). Показано, что по уровню параметров МКП ВТЦ "Баспик" не уступают современным зарубежным МКП. Определены требования к мелкоструктурным беспленочным МКП для современных ЭОП 3+ и 4-го поколений. Показано, что реализация этих требований возможна в рамках разработанной в ВТЦ "Баспик" новой версии базового технологического способа изготовления МКП.

Основная область применения микроканальных пластин связана с техникой ночного видения, где МКП выполняет функцию усилителя электронных изображений в электронно-оптических преобразователях, используемых в составе приборов ночного видения (ПНВ). Поскольку параметры МКП, ЭОП и ПНВ взаимосвязаны, соответственно, прогресс в МКП в существенной степени определяет прогресс в ЭОП и ПНВ [1—4]. В настоящее время особую актуальность имеют освоение и промышленный выпуск высококачественных мелкоструктурных МКП с диаметром каналов 4,5—6 мкм и пределом разрешения до 70—90 пар лин/мм для комплектации новейших поколений ЭОП и ПНВ [1—3, 5, 6].

За последние пять лет также существенно актуализировался вопрос использования в ЭОП 3-го поколения МКП без ионно-барьерной пленки на входе (беспленочных МКП), поскольку это позволит значительно улучшить параметры ЭОП и ПНВ. Фирма DEP (Нидерланды), специализирующаяся на производстве ЭОП 2+-го поколения, показала, что ее последние разработки (XD-4, XR-5) благодаря отличному разрешению (64—72 пар лин/мм) и высокому отношению сигнал/шум на выходе (20—30) обеспечивают почти

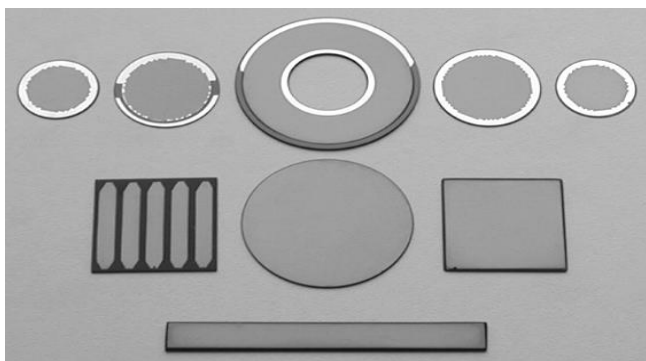
такую же дальность при освещенности на местности порядка 10^{-3} лк, что и ЭОП 3-го поколения.

Применение беспленочных МКП в ЭОП 3-го поколения дает ряд преимуществ: упрощение технологии изготовления ЭОП; предотвращение ухудшения параметров МКП за счет загрязнения поверхности каналов во время формирования ионно-барьерной пленки; повышение отношения сигнал/шум на выходе за счет увеличения физической прозрачности входа МКП, что увеличивает дальность действия ПНВ и расширяет его динамический диапазон в сторону меньших освещенностей на местности; возможность уменьшить расстояние МКП-фотокатод до 0,05—0,1 мм, что уменьшает размер ореола вокруг ярких изображений (гало) и улучшает предел разрешения ЭОП; возможность снизить отражение от входного торца МКП и повысить коэффициент вторичной электронной эмиссии при первом соударении путем нанесения соответствующих функциональных покрытий, что снижает интенсивность гало и повышает отношение сигнал/шум. Однако при этом требуется, чтобы интенсивность газоотделения МКП и обратной ионной связи в ЭОП были снижены до уровня, не ухудшающего отно-

шение сигнал/шум и не снижающего срок службы фотокатода вследствие его деградации.

Ведущие мировые изготовители современных ЭОП фирм Litton и ITT (США) задачу внедрения беспленочной МКП в ЭОП 3-го поколения считают одной из наиболее актуальных и приоритетных [7—12]. Решение этой задачи связывается, главным образом, с внедрением новых высокотемпературных рабочих стекол с малым газоотделением [8, 11], другие направления — с созданием рабочих стекол с объемной проводимостью [9], совершенствованием технологии изготовления МКП [8, 10].

ВТЦ "Баспик" в период 1995—2002 гг. разработал и освоил в производстве МКП с монолитным обрамлением, имеющие диаметр каналов 6—10 мкм, угол наклона каналов 5—13°. Номенклатура МКП ВТЦ "Баспик" различного назначения показана на рисунке. Ежегодно для комплектации ЭОП выпускается более 20 тыс. МКП. Качество МКП ВТЦ "Баспик" обеспечивает текущие требования применения в ЭОП 2+ и 3-го поколений, выпускаемые ОАО "Катод" и ОАО "Экран" (г. Новосибирск), ФНТЦ АО "Геофизика-НВ" (г. Москва), а также рядом других предприятий.



Номенклатура МКП, выпускаемых ООО ВТЦ "Баспик"

Технический уровень и качество МКПО ВТЦ "Баспик" постоянно оцениваются, во-первых, по фактическому уровню параметров в сравнении с зарубежными аналогами, во-вторых, исходя из опыта применения в составе ЭОП и по отзывам потребителей, в третьих, исходя из требований применения в составе новейших ЭОП 3+ и 4-го поколений.

Ценные сведения о параметрах и конструктивно-технологических решениях дают анализ зарубежных технических поставочных спецификаций и систематическое исследование современных МКП зарубежных изготовителей, в том числе Burle, Litton (США), Photonis (Франция), Hamamatsu (Япония), китайских фирм. Проведенный анализ показывает, что современные мелкоструктурные МКП зарубежных изготовителей имеют дефекты структуры каналов и рабочих поверхностей, а уровень основных параметров существенно не отличается от аналогичного уровня МКП конца 80-х годов. По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- МКП ВТЦ "Баспик" не уступают или превосходят уровень зарубежных аналогов по величине предела

разрешения, чистоте поля зрения (ЧПЗ), сопротивлению, усилению, "памяти".

- МКП ВТЦ "Баспик" по механической прочности и формоустойчивости (величина прогиба) превосходят МКП США, Франции, Японии, Китая. У МКП США и других изготовителей при хранении отмечается треск, при этом доля разрушенных пластин достигает до 20 %. МКП ВТЦ "Баспик" не трещат при хранении в течение двух лет в упаковке изготовителя.

- МКП "Баспик" по электрической прочности при напряженности поля МКП-экран 12—15 кВ/мм не уступают зарубежным аналогам, что позволяет эксплуатировать их в ЭОП при расстоянии МКП—экран 0,45—0,5 мм, напряжении на экранном промежутке 6—7 кВ и практически реализовывать предел разрешения, обусловленный геометрической структурой каналов МКП (для МКП 18—6 с диаметром каналов 6 мкм геометрический предел разрешения составляет 74 пар лин/мм, а для МКП 18—5 с диаметром каналов 5 мкм — 93 пар лин/мм). По данным потребителей, в этих условиях с применением МКП 18—10 и МКП 18—8 реализуется предел разрешения, соответственно равный, в среднем 47 и 59 пар лин/мм, а с применением МКП 18—6 предел разрешения в этих условиях достигает 66—68 пар лин/мм. Данный показатель может быть повышен практически до геометрического предела путем увеличения глубины запыления слоем контактного электрода на выходе каналов и снижением напряжения питания на МКП.

- МКП ВТЦ "Баспик" по разбросу диаметра каналов (0,9—1,2 %) практически соответствуют зарубежным аналогам (0,8—1,3 %), однако уступают зарубежным МКП в части совершенства структуры каналов по границам спекания микроканальных сот. При этом на зарубежных МКП также отмечаются различные структурные дефекты.

- МКП ВТЦ "Баспик" выдерживают обезгаживание при температурах 460—500 °С без деформации конструкции или ухудшения параметров. Большинство зарубежных МКП не позволяют проводить обезгаживание при температуре выше 400 °С.

- Все пластины, отечественные и зарубежные, при длительном хранении в упаковке поставщика при нормальных климатических условиях в большей или меньшей степени ухудшают внешний вид за счет роста посторонних частиц. Электрические параметры МКП при хранении не меняются в пределах 5 %.

- МКП ВТЦ "Баспик" имеют средний фактор шума в том же интервале (2,0—4,0), что и зарубежные аналоги.

- По данным проведенных испытаний, минимальная наработка ЭОП с МКП ВТЦ "Баспик" достигает 10 000 ч, однако в ряде случаев отмечается заметное падение чувствительности фотокатода вследствие газоотделения МКП и экрана.

В целом МКП ВТЦ "Баспик" по параметрам находятся на уровне зарубежных аналогов, что, однако, в настоящее время не удовлетворяет возросшие требова-

ния к параметрам ЭОП 3+- и 4-го поколений [2, 3, 6, 13—15]. Ключевыми вопросами являются: повышение предела разрешения, снижение уровня шумов, увеличение долговечности МКП и ЭОП. Указанные проблемы решаются специалистами ВТЦ "Баспик" взаимосвязано и на основе системной методологии в рамках разработки новой версии технологии МКП применительно к мелкоструктурным пластинам с каналами диаметром 4,5—6 мкм.

Предварительно проблемные вопросы создания современной мелкоструктурной беспленочной малошумящей МКП с малым газовыделением и большим сроком службы были проработаны теоретически [4, 13, 16—24] и с учетом последних литературных данных [7—12, 25, 26]. В процессе специально поставленных теоретических и экспериментальных исследований были рассмотрены физические процессы и модели, физические, конструктивно-технологические и режимные факторы разрешения и шумов микроканальных ЭОП и МКП; обобщены известные и получены новые результаты по газосодержанию и газовыделению МКП; рассмотрены физические модели и факторы токовой устойчивости МКП на сроке службы; теоретически рассмотрены процессы и модели деградации фотокатода ЭОП на сроке службы. Особое внимание было уделено исследованиям поверхности каналов МКП современными физико-аналитическими методами [17, 27]. На этой основе были выработаны главные требования к конструкции и параметрам МКП [13], а также определены основные технологические решения по их реализации.

Основные конструктивные и параметрические проблемы, подлежащие решению

Конструкция и структура. Толщина пластин до 200 мкм, прогиб не более 25 мкм, отсутствие тресков в технологии, при хранении и эксплуатации. Диаметр каналов 4,5—5 мкм. Разброс диаметров каналов не более 0,8 %. Повышение совершенства структуры, особенно по границам спекания. Отсутствие на поверхности посторонних частиц (ПЧ) размером более 0,5 мкм. Оптимизация (конфигурация, материал, структура) покрытия контактного электрода на входе и на выходе МКП. Повышение прозрачности входа до 65—70 %. Коэффициент отражения входного торца пластины не более 5 %. Специальные покрытия на входе и выходе каналов, улучшающие электрическую прочность (на выходе) и вторично-эмиссионную эффективность (на входе).

Параметры. Рабочее напряжение (при усилении 10^3) не более 650—700 В. Высокое качество ЧПЗ — ни одной темной или светлой точки размером более 30 мкм в поле зрения. Электрическая прочность (отсутствие автоэлектронных явлений) в поле МКП—экран не менее 15 кВ/мм. Фактор шума МКП не более 1,5—1,6. Отношение сигнал—шум на выходе ЭОП не менее 30. Реализуемый в условиях ЭОП предел разрешения 65—80 пар лин/мм.

Надежность и эксплуатационные свойства. Минимальная наработка в ЭОП не менее 15000 ч. Отсутствие отравляющего воздействия на фотокатод и увеличения уровня шумов ЭОП на наработке за счет газовыделения МКП. Допустимая температура

обезгаживания не менее 500 °С. Сохраняемость МКП в упаковке изготовителя в течение не менее 6 мес. Достаточная стабильность параметров МКП в техпроцессе изготовления ЭОП.

Указанные задачи решаются в настоящее время ВТЦ "Баспик" на базе разработки новой версии технологии мелкоструктурных беспленочных МКП, в том числе в процессе разработки МКП 18—5 с каналами диаметром 5 мкм в рамках выполнения ОКР "Миллиард—МКП". Исследования показывают, что реализация этих требований возможна в рамках принятой в ВТЦ "Баспик" версии базового технологического способа изготовления МКП. Подлежат корректировке и системной оптимизации конструкция МКП и ряд ключевых технологических операций. При этом особое внимание уделяется повышению качества базовых структурных элементов — многожильных световодов, оптимизации структуры каналов по границам спекания, оптимизации материала и конфигурации покрытия контактных электродов, внедрению специальной физико-химической обработки заготовок МКП, приводящей к оптимизации свойств рабочих поверхностей.

Литература

1. Кулов С. К., Петровский Г. Т., Попов М. Н., Романов Г. П. Микроканальные пластины // Электронная промышленность, 1988. № 12. С. 13—17.
2. Локтионов В. И., Багдугев Р. И., Гольдберг И. И. и др. Электронно-оптические преобразователи новых поколений // Там же. 2003. № 1. С. 81—84.
3. Куклев С. В., Соколов Д. С., Соха С. И. Развитие электронно-оптического приборостроения // Там же. С. 79—84.
4. Кулов С. К. Микроканальные пластины. — Владикавказ, 2000.
5. Кулов С. К., Макаров Е. Н., Романов Г. П. и др. Микроканальные пластины в технике ночного видения // Микроканальные пластины (теория, технология, применение): Матер. науч.-техн. конф., 2002. Вып. 1. С. 5—8.
6. Biass E., Gourly S. Night Vision Technology Update // Armada International. 2001. № 5. P. 28—36.
7. Estrera J., Ostromeck T., Bacarella A., Isbell W., Iosue M., Saldana M., Beystrom T. Advanced Image Intensifier Night Vision System Technologies: Status and Summary 2002 // Proc. SPIE. 2003. V. 4796. P. 49—59.
8. Estrera J., Bender E., Giordana A., Glesener J., Iosue M., Po-Ping Lin, Sinor T. Long Lifetime Generation IV Image Intensifiers with Unfilmed MCP // Ibid. 2000. V. 4128. P. 46—53.
9. Sinor T., Bender E., Chau T., Estrera J., Giordana A., Glesener J., Iosue M., Po-Ping Lin, Rehg S. New Frontiers in 21 Century MCP technology: Bulk Conductive MCP Based I² // Ibid. P. 5—13.
10. Thomas N. System Performance Advances of 18-mm and 16-mm Subminiature Image Intensifier Sensor // Ibid. P. 54—64.
11. Girpin M. Significantly extended life of image intensifiers using Litton's High Performance MCP // Ibid. 1992. V. 1655. P. 179—187.
12. Biass E., Gourly S. Night Vision Technology Update // Armada International. 2001. № 5. P. 28—36.
13. Кулов С. К., Макаров Е. Н., Бугулова И. П. Требования к МКП в составе ЭОП новейших поколений // Микроканальные пластины (теория, технология, применение): Матер. науч.-техн. конф., 2002. Вып. 1. С. 9—14.
14. Кацавцев Н. Ф., Федорова С. Ф. Состояние и перспективы развития техники ночного видения // Прикладная физика. 1999. № 2.
15. Саликов В. Л. Приборы ночного видения: история поколений // Специальная техника, 2000. № 2. С. 40—48.
16. Кулов С. К. Шумы микроканальных ЭОП. — Владикавказ, 2002.
17. Кулов С. К. Качество поверхности МКП. Ч. 1, 2. — Владикавказ, 2003.
18. Кулов С. К. Газосодержание и газовыделение МКП. — Вла-

дикавказ, 2001.

19. Кулов С. К. Прогноз развития направления МКП на период до 1995 г. — Владикавказ, 1988.

20. Кулов С. К., Гер Н. А. Прогноз развития направления МКП для ЭОП на период до 2002 г. и на перспективу. — Владикавказ, 2000.

21. Кулов С. К. ПНВ, ЭОП, МКП. Состояние рынка, параметры, развитие направлений. Вып. 1. — Владикавказ, 2003.

22. Кулов С. К., Макаров Е. Н., Кесаев С. А. и др. Основные принципы технологии МКП/Микроканальные пластины (теория, технология, применение): Матер. науч.-техн. конф. 2002. Вып. 1. С. 15—19.

23. Кулов С. К., Кесаев С. А., Макаров Е. Н. и др. Формирование и свойства резистивно-эмиссионного слоя каналов МКП//Там же. С. 65—109.

24. Кулов С. К. Рабочие стекла и трансформация их свойств в техпроцессе МКП//Там же. С. 24—64.

25. Then A., Pantano C. Formation and behavior of surface layers on electron emission glasses//J. Non-Crystalline Solids. 1990. V. 120. P. 178—187.

26. Souza A. D., Leiphart S., Pantano C. RF-plasma treatments of surface-conductive alkali-lead silicate glass and MCP// Appl. Surface Science. 1999. V. 148. P. 126—132.

27. Кесаев С. А. Результаты исследований состояния и элементного состава поверхности МКП (аналитический отчет). — Владикавказ, 2003.

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2004 г.

The small pore microchannel plate for night vision devices

S. K. Kulov, S. A. Kesaev, E. N. Makarov, Yu. L. Pergamentsev,
N. V. Berishvili, V. Yu. Boyadjidy, A. B. Popugaev, T. V. Polina
Vladikavkaz Technological Center Baspik Ltd, Vladikavkaz, Russia

The problem of development, production and application in image intensifier tube of small pore MCP was especially actual last years. Is shown, that a level of parameters of VTC Baspik MCP do not concede to modern foreign plates. The requirements to small pore MCP for a modern image intensifier tubes of 3+ and 4 generations are determined. Is shown, that the realization of these requirements is possible within the new version of a base technological way of MCP manufacturing.