

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19)  
**RU**  
(11)

**2 630 034**

(13)  
**C1**  
(51) МПК  
[H01J 31/50 \(2006.01\)](#)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

Статус: действует (последнее изменение статуса: 17.02.2020)  
Пошлина: учтена за 5 год с 20.07.2020 по 19.07.2021

(21)(22) Заявка: [2016129556](#), 19.07.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
19.07.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.07.2016

(45) Опубликовано: [05.09.2017](#) Бюл. № [25](#)

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: **RU 168103 U1, 18.01.2017.**  
**RU2524753 C1, 10.08.2014. SU 800682 A1,**  
**30.01.1981. US 612612 A, 19.09.2000. US**  
**6597112 B1, 22.07.2003. JP 2012059414 A,**  
**22.03.2012. .**

Адрес для переписки:

630047, г. Новосибирск, ул. Падунская, 3,  
АО "Катод"

(72) Автор(ы):

**Гольдберг Иосиф Исаакович (RU),**  
**Долгих Александр Владимирович (RU),**  
**Локтионов Владимир Ильич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

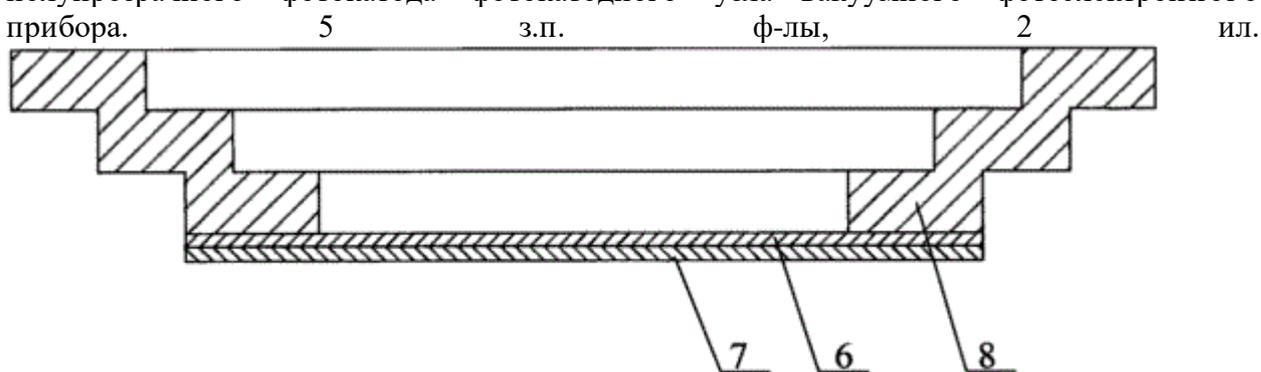
**Акционерное общество "Катод" (RU)**

(54) **ФОТОКАТОДНЫЙ УЗЕЛ ВАКУУМНОГО ФОТОЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРА С  
ПОЛУПРОЗРАЧНЫМ ФОТОКАТОДОМ НА ОСНОВЕ НИТРИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГАЛЛИЯ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к фотокатодным узлам вакуумных фотоэлектронных приборов, работающих в ультрафиолетовой области спектра и содержащих фотокатод на основе нитридных соединений галлия, и может быть использовано в конструкциях

электронно-оптических преобразователей с прямым переносом изображения, фотоэлектронных умножителей и координатно-чувствительных детекторов с микроканальным усилением, изготавливаемых методом отдельной обработки фотокатодной и корпусных частей. В фотокатодном узле вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом на внутренней поверхности входного окна, выполненного в виде диска из сапфира, выращены слои гетероэпитаксиальной структуры нитридных соединений галлия в качестве полупрозрачного фотокатода. На внешней поверхности входного окна по его периферии вакуумно-плотно закреплен выполненный из биметалла элемент сочленения входного окна с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора. Слой биметалла, не соприкасающийся с внешней поверхностью входного окна, состоит из материала с температурным коэффициентом линейного расширения, отличающимся от температурного коэффициента линейного расширения сапфира не более чем на 10% в интервале температур от 20°C до 200°C. Технический результат - расширение области применения фотокатодного узла вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом, повышение уровня квантового выхода полупрозрачного фотокатода фотокатодного узла вакуумного фотоэлектронного прибора.



Фиг. 2

Изобретение относится к области вакуумных фотоэлектронных приборов (далее ФЭП), работающих в ультрафиолетовой области спектра и содержащих фотокатод на основе нитридных соединений галлия, а более конкретно к фотокатодным узлам таких вакуумных фотоэлектронных приборов, и может быть использовано в конструкциях электронно-оптических преобразователей (далее ЭОП) с прямым переносом изображения, фотоэлектронных умножителей и координатно-чувствительных детекторов с микроканальным усилением, изготавливаемых методом отдельной обработки фотокатодной и корпусных частей.

Известно использование гетероэпитаксиальных структур на основе нитридных соединений галлия, в частности на основе соединений GaN, AlGaIn, в качестве полупрозрачных фотокатодов, чувствительных к ультрафиолетовой области спектра. Известные технологии создания для таких целей слоев гетероэпитаксиальных структур на основе нитридных соединений галлия предполагают их выращивание на тонких сапфировых подложках толщиной от 0,4 до 0,7 мм. Как известно, наиболее важной характеристикой фотокатода является его квантовый выход, который определяется числом эмитированных фотоэлектронов, приходящихся на один падающий фотон. Величина квантового выхода материала фотокатода определяется его свойствами, состоянием его поверхности и энергией фотонов, которая должна превышать работу выхода материала фотокатода. Для того чтобы снизить работу выхода выращенной на сапфировых подложках гетероэпитаксиальной структуры, необходимо снять поверхностные загрязнения таким образом, чтобы ее поверхность была атомарно чистой. Поверхность соединений элементов III-V групп очищается в достаточной степени при их нагревании в вакууме до температуры, близкой к точке

разложения. Для нитридных соединений галлия, относящихся к данной группе соединений, температура нагрева составляет 600-620°C. При таких температурах выращенную на сапфировых подложках гетероэпитаксиальную структуру нитридных соединений галлия перед ее помещением в вакуумный блок ФЭП подвергают термической очистке в сверхвысоком вакууме и активируют путем нанесения слоя адсорбированных электроположительных атомов, например, цезия, а также добавкой электроотрицательных атомов, например, кислорода. Активирование гетероэпитаксиальной структуры фотокатода значительно снижает фотоэлектронный порог (работу выхода электронов) и соответственно обеспечивает условие отрицательного электронного сродства на ее поверхности, за счет чего обеспечивается высокий уровень квантового выхода (фотоэлектронной эмиссии) фотокатода.

Известны решения фотокатодных узлов вакуумных фотоэлектронных приборов, содержащих гетероэпитаксиальные структуры на основе нитридных соединений галлия, выращенные на сапфировой подложке, которые описаны в статье I. Mizuno, T. Nihashi, T. Nagai, M. Niigaki, Y. Shimizu, K. Shimano, K. Katoh, T. Ihara, K. Okano, M. Matsumoto, M. Tachino «Development of UV image intensifier tube with GaN photocathode», Proc. Of SPIE Vol. 6945, 2008, а также в описании изобретения к патенту RU 2524753 (опубл. 10.08.2014, МПК H01J 31/50, H01J 9/24).

Согласно статье I. Mizuno и других гетероэпитаксиальную структуру нитридного соединения галлия p-GaN, легированную магнием, для ее использования в ЭОП выращивали на тонкой сапфировой подложке диаметром 1 дюйм и толщиной 0,7 мм, из которой затем вырезали диски диаметром 20 мм, которые сочленяли с выполненным в необходимом профиле входным окном из сапфира толщиной 5 мм. Перед установкой фотокатода в корпус вакуумного блока фотоэлектронного прибора его подвергали прогреву и активированию в парах цезия и кислорода. Известный фотокатодный узел вакуумного фотоэлектронного прибора, описанный в статье I. Mizuno и других, изображен на фиг. 1. В известном фотокатодном узле вакуумного фотоэлектронного прибора тонкая сапфировая подложка 1 (фиг. 1) с выращенными на ней слоями 2 гетероэпитаксиальной структуры соединена с входным окном 3, выполненным в виде толстого профильного диска из сапфира. На торцевых поверхностях 4, расположенных по периферии профильного сапфирового диска входного окна 3, нанесено адгезионное покрытие 5 для обеспечения вакуум-плотного сочленения по торцевым поверхностям 4 фотокатодного узла с корпусной частью фотоэлектронного прибора (не показано), выполняемого известным способом холодной сварки через прокладку (не показано) из пластичного металла, например индия. Недостаток решения фотокатодного узла, известного из статьи I. Mizuno и других, связан с тем, что сапфировое входное окно имеет сложную форму и поэтому из-за значительной твердости сапфира оно технически сложно и трудоемко в изготовлении. Вместе с этим технология сочленения сапфирового диска входного окна с гетероэпитаксиальной структурой нитридного соединения галлия GaN на тонкой сапфировой подложке также представляет технологические трудности. Другой недостаток известного решения фотокатодного узла заключается в трудности нагрева гетероэпитаксиальной структуры нитридного соединения галлия, в данном случае структуры соединения GaN, в вакууме до температуры 600-620°C, необходимой для создания благоприятных условий прохождения последующего процесса ее активирования. Трудность нагрева гетероэпитаксиальной структуры обусловлена тем, что нагрев в вакууме осуществляется только за счет теплового излучения, которое сапфир в значительной степени пропускает, поэтому сапфировое входное окно плохо прогревается и не передает тепло слоям гетероэпитаксиальной структуры. Недостаточный прогрев гетероэпитаксиальной структуры перед ее активированием не позволяет получить высокий уровень квантового выхода

фото катода. Также недостатком известного решения фотокатодного узла является большая толщина входного окна, обусловленная требованием механической прочности при холодной индиевой герметизации вакуумного блока, наличие торцевых поверхностей входного окна, а также смежных поверхностей сапфировой подложки и сапфирового диска входного окна. Такое решение известного фотокатодного узла приводит к снижению контрастности изображения из-за многократных переотражений света от торцевых и смежных поверхностей. Кроме этого, большая толщина входного окна требует использования большого количества довольно дорогостоящего материала сапфира.

Из описания изобретения к патенту RU 2524753 (опубл. 10.08.2014, МПК H01J 31/50, H01J 9/24) известно решение фотокатодного узла вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом, в котором слои гетероэпитаксиальной структуры нитридных соединений галлия GaN, AlGaN выращены на тонком сапфировом диске, толщина которого составляет от 0,5 мм до 0,7 мм. Тонкий сапфировый диск является одновременно и подложкой для выращенных слоев гетероэпитаксиальной структуры нитридных соединений галлия GaN, AlGaN, и входным окном. По периферии сапфирового диска входного окна, через алюминиевую прокладку, термокомпрессионно вакуум-плотно приварен элемент сочленения входного окна с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора, который выполнен в виде фланца. Из раскрытых в описании к патенту RU 2524753 сведений следует, что элемент сочленения входного окна с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора выполнен из титана. Элемент сочленения входного окна с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора соединяется с ним способом холодной сварки через слой пластичного металла, например индия. Известное из патента RU 2524753 техническое решение фотокатодного узла вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом принято в качестве ближайшего аналога изобретения. Решение фотокатодного узла вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом, ближайший аналог, устраняет недостатки фотокатодного узла вакуумного ФЭП, описанного в статье I. Mizuno и других. А именно, решение фотокатодного узла, ближайший аналог, за счет наличия в нем элемента сочленения входного окна с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора, выполненного в виде титанового фланца, позволяет уменьшить толщину сапфирового диска входного окна, тем самым, упростить конструкцию фотокатодного узла. За счет малой толщины сапфирового диска и отсутствия торцевых и смежных плоскостей, отражающих свет, в конструкции ближайшего аналога устраняются причины ухудшения контраста изображения в готовом вакуумном фотоэлектронном приборе (в случае использования в ЭОП). Также за счет наличия в конструкции ближайшего аналога элемента сочленения входного окна с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора в виде титанового фланца, хорошо поглощающего и передающего тепло слоям гетероэпитаксиальной структуры, облегчается подвод тепла для ее нагрева до необходимой температуры перед активированием. Однако фотокатодный узел вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом, ближайший аналог, имеет недостатки. Так, в конструкции ближайшего аналога титановый фланец, выполняющий функцию элемента сочленения входного окна с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора, вакуум-плотно закреплен на поверхности сапфирового диска. Вакуум-плотное соединение выполняется способом термокомпрессионной сварки через алюминиевую прокладку при температуре, близкой к температуре плавления алюминия и составляющей 640°C. При такой температуре температурные коэффициенты линейного расширения (далее ТКЛР) сапфира и титана близки друг к другу (ТКЛР сапфира -  $97,7 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , ТКЛР титана -  $92,7 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ ), соответственно этому, в процессе термокомпрессионной сварки, при высоких температурах нагрева

свариваемых элементов (титанового элемента сочленения входного окна с корпусом ФЭП и сапфирового диска входного окна) их линейные размеры изменяются в примерно равной, соразмерной степени. Однако при более низких температурах температурные коэффициенты линейного расширения титана и сапфира в большой степени не согласованы. Так, в интервале температур от 20 до 200°C среднее значение температурного коэффициента линейного расширения титана составляет  $81 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , а сапфира -  $50 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ . То есть в процессе выполнения сварного соединения элементов фотокатодного узла в данном интервале температур изменение линейных размеров титанового элемента сочленения входного окна с корпусом ФЭП происходит в большей степени, чем изменение линейных размеров сапфирового диска входного окна. Это приводит к возникновению в сварном соединении значительных напряжений, под воздействием которых происходит упругая деформация сапфирового диска и, как следствие, искривление плоскости сапфирового диска в виде выпуклости. Результатом выпуклого искривления поверхности сапфирового диска входного окна является соответствующее выпуклое искривление поверхности фотокатода, поскольку слои гетероэпитаксиальной структуры, его образующие, выращены на поверхности сапфирового диска. Как показывают результаты практических испытаний, в фотокатодном узле, выполненном в соответствии с техническим решением ближайшего аналога, отклонение от плоскостности сапфирового диска входного окна в виде его выпуклости и соответствующее выпуклое искривление фотокатода может составлять 50 мкм. В случае применения фотокатодного узла в электронно-оптическом преобразователе с прямым переносом изображения такая степень выпуклости фотокатода оказывает следующее негативное влияние на качество изображения на экране ЭОП, определяемое его разрешающей способностью. Как известно, высокая разрешающая способность на экране ЭОП должна достигаться как в центре экрана, так и по его периферии (требование равномерности разрешающей способности по рабочему полю экрана ЭОП). Разрешающая способность электронно-оптических преобразователей с прямым переносом изображения в значительной мере определяется величиной входного межэлектродного зазора, то есть расстоянием между поверхностью фотокатода и последующей за ним микроканальной пластиной. В ЭОП с прямым переносом изображения наибольшая степень разрешающей способности на его экране достигается как можно малым входным межэлектродным зазором, величина которого может составлять 100 мкм. Если в ЭОП с прямым переносом изображения величина входного межэлектродного зазора составляет 100 мкм и при этом имеется выпуклость фотокатода величиной 50 мкм, то величина входного межэлектродного зазора по его периферии отличается от величины входного межэлектродного зазора в его центре на 50% в большую сторону. Такая большая степень увеличения входного межэлектродного зазора от его центра к периферии обуславливает существенное снижение разрешающей способности изображения на экране ЭОП в направлении от центра экрана к его периферии. Таким образом, техническое решение фотокатодного узла, ближайшего аналога, не позволяет обеспечить одно из основных требований, предъявляемых к ЭОП с прямым переносом изображения и определяющим качество изображения на его экране, - равномерность разрешающей способности по всему рабочему полю экрана ЭОП. Данное обстоятельство ограничивает применение решения фотокатодного узла, ближайшего аналога, в электронно-оптических преобразователях с прямым переносом изображения, то есть сужает его область применения. Вместе с этим очевидно, что напряжения, возникающие в сварном соединении вследствие несогласованности температурных коэффициентов линейного расширения сапфира и титана при относительно низких температурах, сохраняются после полного охлаждения фотокатодного узла. Наличие значительных остаточных напряжений в сварном соединении фотокатодного узла обуславливает возникновение

микротрещин в алюминиевом прокладочном слое, посредством которого выполнено сварное соединение. Это обуславливает общую ненадежность фотокатодного узла, а также препятствует достижению необходимой температуры 600-620°C прогрева гетероэпитаксиальной структуры перед ее активированием, поскольку последующий повторный высокотемпературный нагрев фотокатодного узла с целью прогрева гетероэпитаксиальной структуры, выращенной на его входном окне в качестве полупрозрачного фотокатода, может привести к увеличению количества и размеров микротрещин в алюминиевом прокладочном слое и его разрушению вплоть до полной потери вакуумной плотности сварного шва и, как следствие, не пригодности фотокатодного узла для дальнейшего использования в составе вакуумного фотоэлектронного прибора. Из-за существования большой вероятности нарушения вакуумной плотности фотокатодного узла, ближайшего аналога, его нагрев, обеспечивающий одновременный нагрев гетероэпитаксиальной структуры полупрозрачного фотокатода, приходится вести при более низких температурах, что в результате не позволяет достичь высоких значений квантового выхода его полупрозрачного фотокатода. С увеличением стандартного диаметра фотокатода и соответствующим увеличением диаметра сапфирового диска входного окна фотокатодного узла вероятность нарушения вакуумной плотности его сварного соединения возрастает. Очевидно это обусловлено известной зависимостью сопротивления температурным напряжениям от определяющих размеров деталей соединения. Так, если определяющим размером соединения является диаметр сапфирового диска, то с его увеличением сопротивление температурным напряжениям в сварном соединении будет уменьшаться. Соответственно этому под воздействием температурных напряжений, существующих в сварном соединении фотокатодного узла в результате несогласованности температурных коэффициентов линейного расширения сапфира и титана, сварной шов ослабляется в большей степени при относительно больших диаметрах сапфирового диска входного окна, чем при относительно малых его диаметрах. Таким образом, при некоторых определенных значениях диаметра сапфирового диска величина температурных напряжений в сварном соединении оказывается выше предела прочности алюминиевого слоя сварного шва, что приводит к возникновению в нем микротрещин и последующему нарушению его вакуумной плотности при различных температурных и механических воздействиях. Очевидно, что величина остаточных напряжений, образующихся в сварном соединении фотокатодного узла, ближайшего аналога, обуславливает такую степень ненадежности его конструкции, которая не позволяет применять ее для фотокатодов с относительно большими стандартными диаметрами - от 18 мм и больше. При этом очевидно также, что вероятность нарушения вакуумной плотности сварного шва и соответственно фотокатодного узла, ближайшего аналога, в целом, возрастает также с ростом температуры его нагрева. Действительно, результаты проведенных испытаний фотокатодных узлов, выполненных в соответствии с техническим решением ближайшего аналога и содержащих фотокатоды со стандартными диаметрами 18 и 25 мм, показывают, что при нагреве до температур 450-500°C их вакуумная плотность сохраняется. Однако при нагреве до температур 600-620°C нарушение вакуумной плотности фотокатодных узлов со стандартным диаметром фотокатода 18 мм наблюдается в трех процентах случаев испытаний, а в фотокатодных узлах со стандартным диаметром фотокатода 25 мм нарушение вакуумной плотности имеется в ста процентах случаев испытаний. Данное обстоятельство ограничивает применение конструкции известного фотокатодного узла вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом, ближайшего аналога, для фотокатодов с относительно большими стандартными диаметрами - от 18 мм и больше, то есть сужает область его применения. Вместе с этим результаты проведенных испытаний фотокатодных узлов,

выполненных по техническому решению ближайшего аналога, показывают, что в связи с недостаточным, ограниченными температурами 450-500°C прогревом содержащихся в них полупрозрачных фотокатодов их квантовый выход, получаемый в результате последующего их активирования, на 40-50% ниже квантового выхода, получаемого в результате прогрева полупрозрачных фотокатодов до температур 600-620°C. Вместе с этим общая ненадежность фотокатодного узла, ближайшего аналога, обусловленная наличием остаточных напряжений в его сварном соединении, снижает его стойкость к таким воздействиям механических и климатических факторов, как вибрация, механические удары, очень высокая и низкая температура окружающей среды, циклические изменения температуры и влажности. Недостаточная стойкость фотокатодного узла, ближайшего аналога, к воздействиям механических и климатических факторов может привести к потере работоспособности вакуумного фотоэлектронного прибора, в котором фотокатодный узел, ближайший аналог, применен. Перечисленные недостатки известного решения фотокатодного узла вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом, ближайшего аналога, ухудшают его технико-эксплуатационные показатели.

Техническая проблема, на решение которой направлено изобретение, заключается в улучшении технико-эксплуатационных показателей фотокатодного узла вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом.

Указанная техническая проблема решается тем, что в фотокатодном узле вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом, содержащим входное окно, выполненное в виде диска из сапфира, слой гетероэпитаксиальной структуры нитридных соединений галлия в качестве полупрозрачного фотокатода, выращенные на внутренней поверхности входного окна, и элемент сочленения входного окна с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора, вакуум-плотно закрепленный на внешней поверхности входного окна по его периферии, согласно изобретению элемент сочленения входного окна с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора выполнен из биметалла, в котором слой, не соприкасающийся с внешней поверхностью входного окна, состоит из материала с температурным коэффициентом линейного расширения, отличающимся от температурного коэффициента линейного расширения сапфира не более чем на 10% в интервале температур от 20°C до 200°C.

В заявляемом фотокатодном узле вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом элемент сочленения входного окна с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора выполнен из биметалла, в котором слой, не соприкасающийся с внешней поверхностью входного окна, состоит из материала с температурным коэффициентом линейного расширения, отличающимся от температурного коэффициента линейного расширения сапфира не более чем на 10% в интервале температур от 20°C до 200°C. За счет такого выполнения внутренние напряжения, возникающие при вакуум-плотной термокомпрессионной сварке в сварном соединении фотокатодного узла вследствие различия значений температурных коэффициентов линейного расширения сапфира, из которого выполнен диск входного окна, и материала, из которого выполнен привариваемый к сапфировому диску слой биметалла, из которого выполнен элемент сочленения входного окна с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора, в значительной степени компенсируются примерно равными (соразмерными), но противоположно направленными напряжениями, возникающими вследствие различия значений температурных коэффициентов линейного расширения материала слоя, привариваемого к сапфировому диску входного окна, и материала слоя, не соприкасающегося с внешней поверхностью сапфирового диска входного окна. В результате такой компенсации возникающих напряжений степень выпуклого искривления плоскости сапфирового диска входного окна и соответствующая ей

степень выпуклости полупрозрачного фотокатода минимальна, в том числе, и при относительно больших их диаметрах - от 18 мм и больше. За счет этого становится возможным обеспечить требование равномерности разрешающей способности по всему рабочему полю экрана, предъявляемого к электронно-оптическим преобразователям с прямым переносом изображения, следовательно, становится возможным без ограничений использовать заявляемый фотокатодный узел в их составе, в том числе с фотокатодами относительно больших стандартных диаметров - от 18 мм и больше. Вместе с этим в результате такой компенсации напряжений, возникающих при сварке, остаточные напряжения в фотокатодном узле также остаются незначительными для того, что бы быть причиной нарушения вакуумной плотности соединения элементов фотокатодного узла при его высокотемпературном нагреве до температуры, близкой к температуре плавления алюминия (материала прокладки для вакуум-плотной термокомпрессионной сварки), в том числе при не однократном таком нагреве. Таким образом, обеспечивается прочное вакуум-плотное соединение сапфирового диска входного окна и элемента сочленения входного окна с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора. Надежность заявляемого фотокатодного узла, проявляющаяся в сохранении целостности его вакуум-плотного соединения при указанных высоких температурах, позволяет нагревать фотокатодный узел в вакууме до температур 600-620°C, тем самым обеспечить ту степень очистки поверхности слоев гетероэпитаксиальной структуры нитридных соединений галлия, которая необходима для эффективного ее активирования, следовательно, позволяет обеспечить высокий уровень квантового выхода полупрозрачного фотокатода фотокатодного узла вакуумного фотоэлектронного прибора. Вместе с этим достигаемая степень надежности вакуум-плотного соединения заявляемого фотокатодного узла при его высокотемпературном нагреве до температур 600-620°C также обеспечивает его вакуумную плотность, а значит, и возможность его применения в вакуумных фотоэлектронных приборах с фотокатодами относительно больших стандартных диаметров - от 18 мм и больше, то есть расширяет область применения фотокатодного узла вакуумного фотоэлектронного прибора.

Таким образом, заявляемой совокупностью существенных признаков достигаются технические результаты, заключающиеся в повышении уровня квантового выхода полупрозрачного фотокатода фотокатодного узла вакуумного фотоэлектронного прибора, в расширении области применения фотокатодного узла вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом, в обеспечении требования равномерной разрешающей способности по рабочему полю экрана вакуумного фотоэлектронного прибора в случае использования заявляемого фотокатодного узла в составе электронно-оптического преобразователя с прямым переносом изображения. За счет достигаемых технических результатов решается техническая проблема улучшения технико-эксплуатационных показателей фотокатодного узла вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом.

В фотокатодном узле вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом в качестве материала с температурным коэффициентом линейного расширения, отличающимся от температурного коэффициента линейного расширения сапфира не более чем на 10% в интервале температур от 20°C до 200°C, может быть использован, например, ковар. Ковар представляет собой сплав на основе никеля (Ni) в количестве 29%, кобальта (Co) в количестве 17% и железа (Fe) в остальном количестве, который имеет значение температурного коэффициента линейного расширения, составляющее  $(46-52) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$  (или среднее значение  $49 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ ) в интервале температур от 20°C до 200°C.

В фотокатодном узле вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом слои гетероэпитаксиальной структуры нитридных соединений галлия могут включать соединение GaN.

В фотокатодном узле вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом слои гетероэпитаксиальной структуры нитридных соединений галлия могут включать соединение AlGaN.

В фотокатодном узле вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом элемент сочленения входного окна с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора выполнен в виде фигуры вращения с профилем заданной формы.

В фотокатодном узле вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом толщина диска из сапфира может составлять от 0,4 мм до 0,7 мм.

На фиг. 1 изображен фотокатодный узел вакуумного фотоэлектронного прибора, известный из статьи I. Mizuno, T. Nishashi, T. Nagai, M. Niigaki, Y. Shimizu, K. Shimano, K. Katoh, T. Ihara, K. Okano, M. Matsumoto, M. Tachino «Development of UV image intensifier tube with GaN photocathode», Proc. of SPIE Vol. 6945, 2008.

На фиг. 2 изображен заявляемый фотокатодный узел вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом на основе нитридных соединений галлия.

Заявляемый фотокатодный узел вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом содержит (фиг. 2) входное окно 6, слои 7 гетероэпитаксиальной структуры нитридных соединений галлия в качестве полупрозрачного фотокатода и элемент сочленения 8 входного окна 6 с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора (не показано). Входное окно 6 выполнено в виде диска (не показано) из сапфира, при этом слои 7 гетероэпитаксиальной структуры нитридных соединений галлия выращены на внутренней поверхности входного окна 6, а элемент сочленения 8 входного окна 6 с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора вакуум-плотно закреплен на внешней поверхности входного окна 6 по его периферии. Элемент сочленения 8 входного окна 6 с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора выполнен из биметалла, в котором слой (на фиг. не показано), не соприкасающийся с внешней поверхностью входного окна 6, состоит из материала с температурным коэффициентом линейного расширения, отличающимся от температурного коэффициента линейного расширения сапфира не более чем на 10% в интервале температур от 20°C до 200°C.

Заявляемое техническое решение фотокатодного узла вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом осуществляется следующим образом. Изготавливают полупрозрачный фотокатод фотокатодного узла вакуумного фотоэлектронного прибора, для чего на диске из сапфира выращивают слои 7 гетероэпитаксиальной структуры нитридных соединений галлия. При этом диаметр сапфирового диска выбирают соответствующим одному из стандартных диаметров фотокатодов, который может составлять, в том числе, 18 мм и больше. Толщина диска из сапфира может составлять от 0,4 мм до 0,7 мм. Слои 7 гетероэпитаксиальной структуры нитридных соединений галлия могут включать соединения GaN и/или AlGaN, в том числе в качестве активного слоя гетероэпитаксиальной структуры. Эпитаксиальный рост гетероструктуры нитридных соединений галлия осуществляют одним из известных способов. Например, для эпитаксиального роста соединений GaN и AlGaN применяют способ газовой фазной эпитаксии из металлоорганических соединений или способ молекулярно-пучковой эпитаксии. Диск из сапфира, использованный в качестве подложки для выращенных таким образом на нем и образующих полупрозрачный фотокатод слоев 7 гетероэпитаксиальной структуры нитридных соединений галлия, одновременно используют в качестве входного окна 6 фотокатодного узла вакуумного

фотоэлектронного прибора. При этом поверхность входного окна 6, на которой выращены слои 7 гетероэпитаксиальной структуры нитридных соединений галлия, определяют в качестве его внутренней поверхности, которая при изготовлении вакуумного фотоэлектронного прибора предназначена для размещения во внутреннем объеме корпуса вакуумного ФЭП. Другую, свободную поверхность входного окна 6, определяют в качестве его внешней поверхности, которая при изготовлении фотокатодного узла вакуумного фотоэлектронного прибора предназначена для вакуум-плотного закрепления на ней элемента сочленения 8 входного окна 6 с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора. Изготавливают элемент сочленения 8 входного окна 6 с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора, для чего формируют слои биметалла в виде фигуры вращения с профилем заданной формы одним из известных способов изготовления биметаллических деталей. При этом для слоя биметалла, который в готовом фотокатодном узле не соприкасается с внешней поверхностью входного окна 6, используют материал с температурным коэффициентом линейного расширения, отличающимся от температурного коэффициента линейного расширения сапфира не более чем на 10% в интервале температур от 20°C до 200°C. В качестве такого материала используют, например, ковар, который представляет собой сплав на основе никеля (Ni) в количестве 29%, кобальта (Co) в количестве 17% и железа (Fe) в остальном количестве и имеет температурный коэффициент теплового линейного расширения, значение которого составляет  $(46-52) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$  (или среднее значение  $49 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ ) в интервале температур от 20°C до 200°C. Для слоя биметалла, которым элемент сочленения 8 входного окна 6 с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора в готовом фотокатодном узле закреплен на внешней поверхности входного окна 6, выбирают материал, обеспечивающий его вакуум-плотное соединение с сапфиром, из которого выполнен диск входного окна 6. В качестве такого материала используют, например, титан. Элемент сочленения 8 входного окна 6 с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора может быть изготовлен, например, путем термокомпрессионной сварки друг с другом двух заготовок деталей, выполненных в виде фигур вращения с профилями заданных форм, таким образом, что заготовки образуют слои биметалла, один из которых в готовом фотокатодном узле не соприкасается с внешней поверхностью входного окна 6. Изготовленный элемент сочленения 8 входного окна 6 с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора вакуум-плотно закрепляют на внешней поверхности входного окна 6 по его периферии, например, термокомпрессионной сваркой с использованием промежуточного слоя из алюминия. Сформированный таким образом фотокатодный узел вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом подвергают вакуумному нагреву до температуры 600-620°C и, таким образом, очищают поверхность слоев 7 гетероэпитаксиальной структуры нитридных соединений галлия. Очищенную поверхность гетероэпитаксиальной структуры нитридных соединений галлия активируют цезием и кислородом известными способами, тем самым обеспечивают высокий уровень квантового выхода полупрозрачного фотокатода фотокатодного узла вакуумного фотоэлектронного прибора.

Изготовленный таким образом фотокатодный узел вакуумного фотоэлектронного прибора характеризуется в отличие от технического решения ближайшего аналога более широкой областью применения, более высоким уровнем квантового выхода полупрозрачного фотокатода, а также возможностью обеспечения требования равномерной разрешающей способности по рабочему полю экрана вакуумного фотоэлектронного прибора в случае использования заявляемого фотокатодного узла в составе электронно-оптического преобразователя с прямым переносом изображения, что подтверждается результатами испытаний образцов фотокатодных узлов. Так, результаты проведенных испытаний показывают, что образцы фотокатодного узла

вакуумного фотоэлектронного прибора, воплощающие техническое решение ближайшего аналога и содержащие полупрозрачный фотокатод со стандартным диаметром 18 мм, теряют свою вакуумную плотность в трех процентах случаев испытаний, а со стандартным диаметром 25 мм - в ста процентах случаев и причем уже после однократного нагрева до температур 600-620°C. При этом неплоскостность сапфирового диска входного окна в образцах фотокатодного узла, ближайшего аналога, составляет 50 мкм. В отличие от этого образцы фотокатодного узла вакуумного фотоэлектронного прибора, изготовленные в соответствии с заявляемым техническим решением и содержащие полупрозрачный фотокатод со стандартным диаметром 25 мм, сохраняют вакуумную плотность в ста процентах случаев испытаний даже при десятикратном нагреве до температур 600-620°C. Данные результаты испытаний подтверждают более широкую область применения заявляемого технического решения фотокатодного узла вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом в отличие от технического решения ближайшего аналога. Вместе с этим данные результаты испытаний подтверждают возможность осуществления необходимого, обуславливающего высокий уровень квантового выхода полупрозрачного фотокатода, температурного режима прогрева гетероэпитаксиальной структуры перед ее активированием, с одновременным сохранением в данном температурном режиме вакуумной плотности, а значит, пригодности фотокатодного узла для его использования в составе вакуумного фотоэлектронного прибора. При этом во всех случаях испытаний образцов заявляемого фотокатодного узла нагревом до температур 600-620°C неплоскостность сапфирового диска его входного окна не превышает 10 мкм. Такая малая степень неплоскостности сапфирового диска входного окна и соответственно поверхности полупрозрачного фотокатода заявляемого фотокатодного узла вакуумного фотоэлектронного прибора обеспечивает достаточную степень равномерности распределения разрешающей способности по рабочему полю экрана электронно-оптического преобразователя с прямым переносом изображения в случае использования в нем фотокатодного узла по заявляемому техническому решению. Таким образом, результаты испытаний показывают лучшие технико-эксплуатационные показатели заявляемого технического решения фотокатодного узла вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом в сравнении с техническим решением ближайшего аналога.

#### Формула изобретения

1. Фотокатодный узел вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом, содержащий входное окно, выполненное в виде диска из сапфира, слой гетероэпитаксиальной структуры нитридных соединений галлия в качестве полупрозрачного фотокатода, выращенные на внутренней поверхности входного окна, и элемент сочленения входного окна с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора, вакуум-плотно закрепленный на внешней поверхности входного окна по его периферии, отличающийся тем, что элемент сочленения входного окна с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора выполнен из биметалла, в котором слой, не соприкасающийся с внешней поверхностью входного окна, состоит из материала с температурным коэффициентом линейного расширения, отличающимся от температурного коэффициента линейного расширения сапфира не более чем на 10% в интервале температур от 20°C до 200°C.

2. Фотокатодный узел вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом по п. 1, отличающийся тем, что в качестве материала с температурным коэффициентом линейного расширения, отличающимся от температурного коэффициента линейного расширения сапфира не более чем на 10% в интервале температур от 20°C до 200°C, использован ковар.

3. Фотокатодный узел вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом по п. 1, отличающийся тем, что слои гетероэпитаксиальной структуры нитридных соединений галлия включают соединение GaN.

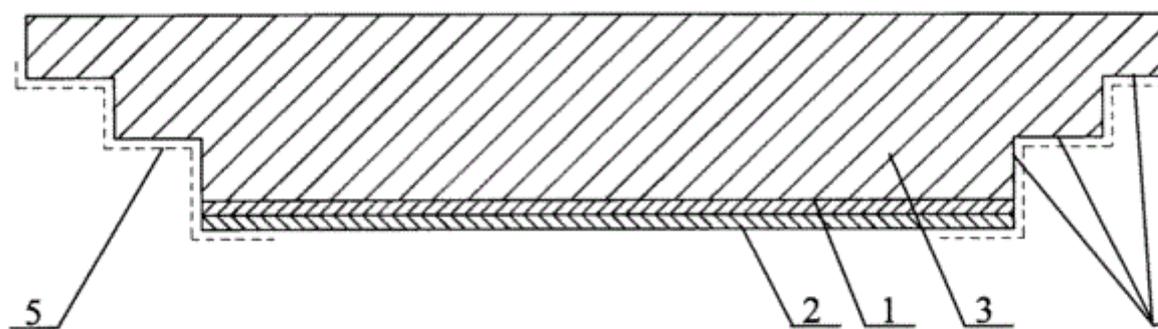
4. Фотокатодный узел вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом по п. 1, отличающийся тем, что слои гетероэпитаксиальной структуры нитридных соединений галлия включают соединение AlGaN.

5. Фотокатодный узел вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом по п. 1, отличающийся тем, что элемент сочленения входного окна с корпусом вакуумного фотоэлектронного прибора выполнен в виде фигуры вращения с профилем заданной формы.

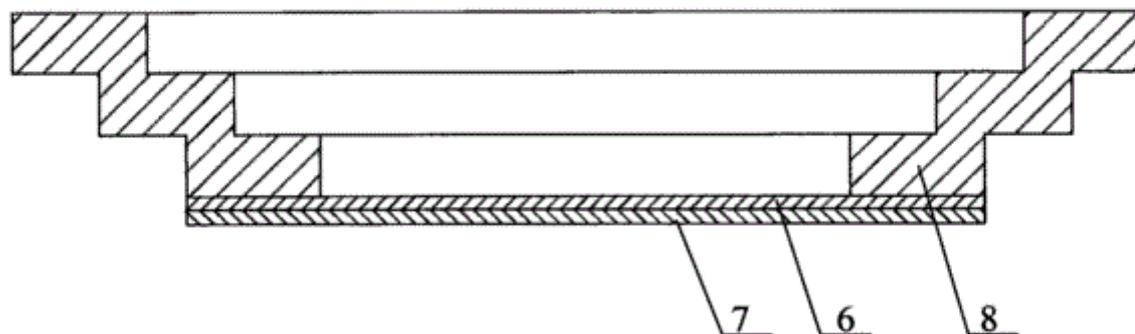
6. Фотокатодный узел вакуумного фотоэлектронного прибора с полупрозрачным фотокатодом по п. 1, отличающийся тем, что толщина диска из сапфира составляет от 0,4 мм до 0,7 мм.

ФОТОКАТОДНЫЙ УЗЕЛ ВАКУУМНОГО ФОТОЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРА  
ПОЛУПРОЗРАЧНЫМ ФОТОКАТОДОМ НА ОСНОВЕ НИТРИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

ГА



Фиг. 1



Фиг. 2

