

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 6595

(13) С1

(51)⁷ H 01J 1/308

(54) **КАТОДНЫЙ УЗЕЛ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ ТРУБКИ**

(21) Номер заявки: а 20001182

(22) 2000.12.28

(46) 2004.12.30

(71) Заявители: Белорусский национальный технический университет; Сычик Василий Андреевич (ВУ)

(72) Авторы: Сычик Василий Андреевич; Сычик Андрей Васильевич; Урбанович Александр Анатольевич; Шумило Виктор Степанович; Горожданов Александр Джонович; Предко Юрий Иванович (ВУ)

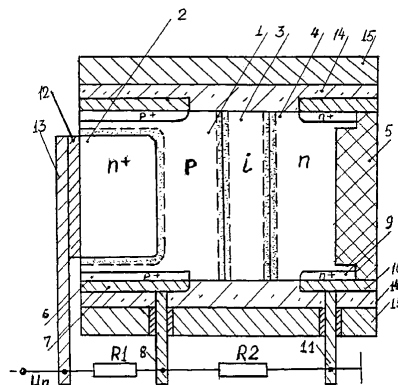
(73) Патентообладатели: Белорусский национальный технический университет; Сычик Василий Андреевич (ВУ)

(57)

1. Катодный узел электроннолучевой трубки, содержащий модулятор, катод, включающий твердую многослойную основу, источник электронной эмиссии, **отличающийся** тем, что твердая многослойная основа выполнена биполярной триодной структурой, включающей область базы р-типа проводимости из широкозонного слаболегированного полупроводника, в которой сформирована сильнолегированная область эмиттера n+ типа проводимости, и область коллектора, представляющую собой гетеропереход из контактирующего с базой слоя широкозонного собственного полупроводника из материала базы и слоя узкозонного полупроводника n-типа проводимости, неравномерно легированного по толщине, с углублением в средней части, модулятором является эмиттерный переход биполярной триодной структуры, а источником электронной эмиссии - активированный слой с малой работой выхода электронов, размещенный в углублении слоя узкозонного полупроводника.

2. Катодный узел по п. 1, **отличающийся** тем, что толщина слоя широкозонного собственного полупроводника составляет $(0,3...0,5)L_d$, где L_d - диффузионная длина электронов, а толщина слоя узкозонного полупроводника составляет $(0,5...0,7)L_d$.

3. Катодный узел по п. 1 или 2, **отличающийся** тем, что слой узкозонного полупроводника легирован по экспоненциальному закону с минимальной концентрацией со стороны слоя широкозонного полупроводника.



Фиг. 1

ВУ 6595 С1

(56)

BY 1849 A, 1994.

US 4506284 A, 1985.

US 5463275 A, 1995.

EP 0241956 A1, 1987.

EP 0416626 A2, 1991.

JP 58051437 A1, 1993.

SU 852097 A, 1998.

Изобретение относится к электронной технике и может быть использовано в производстве эффективных катодных узлов электроннолучевых трубок и других электроракумных приборов с управляемым током катода.

Известен катодный узел электроннолучевой трубки (ЭЛТ) [1], который представляет систему оксидированный каналный катод-модулятор. На цепь подогрева катода подается напряжение накала, а между катодом и модулятором - управляющее напряжение величиной в десятки вольт. Такая конструкция катодного узла обладает большой потребляемой энергией цепи накала, высоким управляющим напряжением и малым сроком службы.

Также известен катодный узел электроннолучевой трубки [2], содержащий модулятор и катод. Катод узла ЭЛТ выполнен из сплава никеля с вольфрамом, имеет слой оксида, способного к термоэлектронной эмиссии, который непосредственно соприкасается с плоской частью передней стороны основания катода и находится с ней в контакте, причем граничная поверхность, способная к термоэлектронной эмиссии, состоит в основном из Va_3Wo_6 . Плоская часть металлического основания имеет платиновое покрытие, на поверхность которого наложен слой оксида. Данная конструкция катода в узле обладает сложной структурой, значительным рядом дорогостоящих металлов, низким сроком службы и высоким энергопотреблением.

Прототипом предлагаемого изобретения является катодный узел электроннолучевой трубки, описанный в заявке Японии [3].

Катодный узел включает катод и модулятор.

Катод является многослойным и реализован на металлической пластине из сплава никеля, содержащего вольфрам, на которой сформирован слой на основе оксида щелочноземельного металла, испускающего электроны. Между пластиной и слоем имеется пленка из платины или рения. Кроме того, металлическая пластина покрывается также пленкой платины или рения, на который затем нанесен слой на основе оксида щелочноземельного металла. Недостатками прототипа являются:

а) сложная структура катода, для создания которой требуется многостадийная сложная технология и большой ряд используемых для изготовления материалов;

б) невысокая чувствительность катодного узла ЭЛТ по управляющему сигналу. Для его нормальной работы управляющее напряжение на модуляторе составляет десятки вольт;

в) низкий срок службы катодного узла ЭЛТ, связанный с интенсивным распылением активированного слоя катода в процессе термоэлектронной эмиссии. Срок службы такого типа катодов не превышает 10^3 ч.

Задача изобретения заключается в повышении чувствительности, плотности тока и срока службы катодного узла электроннолучевой трубки.

Решение задачи достигается тем, что в катодном узле электроннолучевой трубки, содержащем модулятор, на вход которого подается модулирующее напряжение, катод, включающий твердую многослойную основу, со входами для подключения питающего напряжения и источник электронной эмиссии, твердая многослойная основа выполнена биполярной триодной структурой, включающей область базы р-типа проводимости из ши-

BY 6595 C1

рокозонного слаболегированного полупроводника, в которой сформирована сильнолегированная область эмиттера n^+ типа проводимости, и область коллектора, представляющую собой гетеропереход из контактирующего с базой слоя широкозонного собственного полупроводника из материала базы и слоя узкозонного полупроводника n -типа проводимости, неравномерно легированного по толщине, с углублением в средней части, модулятором является эмиттерный переход биполярной триодной структуры, а источником электронной эмиссии - активированный слой с малой работой выхода электронов, размещенный в углублении слоя узкозонного полупроводника. Толщина слоя широкозонного собственного полупроводника составляет $(0,3...0,5)L_d$, где L_d диффузионная длина электронов, а толщина слоя узкозонного полупроводника составляет $(0,5...0,7)L_d$, причем слой узкозонного полупроводника легирован по экспоненциальному закону с минимальной концентрацией со стороны слоя широкозонного полупроводника.

Изложенная сущность изобретения поясняется фиг. 1, 2. На фиг. 1 изображена конструкция катодного узла электроннолучевой трубки, а на фиг. 2 - его зонная диаграмма.

Конструктивно катодный узел электроннолучевой трубки состоит из полупроводниковой биполярной n - p - n триодной структуры, включающей базу I p -типа проводимости из широкозонного слаболегированного полупроводника, в которой сформирована сильнолегированная область эмиттера $2 n^+$ -типа проводимости. Коллекторная область n - p - t триодной структуры содержит контактирующий с базой слой собственного широкозонного полупроводника 3 из материала базы и примыкающий к нему слой узкозонного полупроводника 4 n -типа проводимости с углублением, то есть малой толщиной в его средней части. В углублении узкозонного полупроводника 4 размещен активированный слой 5 с малой работой выхода. В области базы I по периметру сформирован сильнолегированный слой p^+ -типа 6 , на который нанесен металлический омический контакт 7 , связанный с внешним выводом базы 8 . В узкозонном полупроводнике 4 коллекторной области сформированы по периметру сильнолегированный слой n^+ -типа 9 и металлический омический контакт 10 , с которым контактирует внешний вывод коллектора 11 . На области эмиттера 2 размещен омический контакт 12 , к которому присоединен внешний вывод эмиттера 13 . Боковая поверхность полупроводниковой биполярной n - p - n триодной структуры защищена слоем диэлектрика 14 , на которой размещен металлический экран 15 . Граница контакта базы I и эмиттера 2 представляет эмиттерный n - p переход. Коллекторный переход содержит первый обедненный слой на границе между областью базы I и i -слоем 3 коллектора и второй слой на границе контакта i -го слоя 3 и узкозонного n -слоя полупроводника 4 . Эмиттер 2 является источником электронов, а эмиттерный переход полупроводниковой биполярной n - p - n триодной структуры представляет модулятор инжектированных в базу I носителей заряда (электронов).

В качестве материала биполярной n - p - n триодной структуры используется широкозонный полупроводник с шириной запрещенной зоны $E_g \geq 1,3$ эВ, обладающий высокой подвижностью основных носителей - электронов. Им являются теллуриды и селениды цинка и кадмия, арсенид алюминия, антимонид алюминия, фосфид индия. Толщина эмиттерной области 2 и базовой области 1 выбираются стандартными для получения максимального коэффициента передачи инжектированных электронов от эмиттера 2 к коллектору 3 . Обычно толщина области эмиттера составляет $0,5...1$ мкм, а толщина области базы $(0,5...0,8)L_d$, где L_d - диффузионная длина электронов. Коллекторная область полупроводниковой биполярной n - p - n триодной структуры содержит два обедненных слоя. Толщина i -слоя 3 и узкозонного n -слоя 4 выбирается из условия минимальных потерь экстрагирующихся в коллекторную область электронов вследствие рекомбинации и, как показали результаты эксперимента, составляет $(0,3...0,5)L_d$ для i -слоя 3 и $(0,5...0,7)L_d$ для узкозонного слоя 4 . Контактующие i -слой 3 широкозонного полупроводника и n -слой 3 узкозонного полупроводника создают анизотипный i - n гетеропереход, который, как показано

BY 6595 C1

на фиг. 2, преобразует диффундирующие и дрейфующие в коллекторной области электроны в горячие, т.е. переход р-база I - i-слой 4 и i-n гетеропереход являются источником горячих электронов. В качестве узкозонного n-слоя 4 коллекторной области могут использоваться PbTe, InAs, InSb, ширина запрещенной зоны которых $E_g \leq 0,4$ эВ.

Как показали результаты эксперимента, для повышения скорости дрейфа горячих электронов в активированный слой 5 через узкозонный полупроводник n-типа 4, он легирован по экспоненциальному закону с максимумом примеси со стороны активированного слоя 5. Возможно также использование в качестве материалов слоя 4 узкозонного слабо- и равномерно легированного слоя 4 с $E_g \leq 0,4$ эВ. Для обеспечения высокого коэффициента передачи электронов коллекторной областью, т.е. i-n гетероперехода необходимо хорошее согласование в постоянных решетки i и n слоев коллекторной области. Для обеспечения эффективного переноса носителей в области коллекторного перехода биполярной n-p-n триодной структуры i-слой 3 собственного широкозонного полупроводника неравномерно легируется донорной примесью, например, по экспоненциальному закону (реализуется, используя метод ионной имплантации легирующей примеси с последующей термодиффузионной разгонкой), с максимумом примеси со стороны контакта с узкозонным слоем 4. Уровень легирования i-слоя 3 на границе с узкозонным слоем 4 должен обеспечить равенство:

$$E_{C1} - E_F = E_{C2} - E_F,$$

т.е. плавное бесступенчатое снижение уровня дна зоны проводимости E_{C2} коллекторной области. Также можно использовать чистую n-p-n триодную структуру из широкозонного полупроводника. В этом случае коллекторная область n-p-n триодной структуры должна быть легирована донорной примесью по экспоненциальному закону до такого уровня, чтобы квазиуровень Ферми μ_n (фиг. 2) в коллекторной области на границе с активированным слоем 5 составлял $\mu_n = (0,1...0,2)$ эВ. При этом толщина коллекторной области составляет $(0,5...0,9)L_d$.

Металлический омический контакт 10 коллекторной области одновременно электрически контактирует с активированным слоем 5, причем омический контакт 10 соединен с корпусом, что улучшает инжекцию электронов из коллекторной области в активированный слой 5.

На диэлектрическом слое 14, предназначенном для электрической защиты биполярной n-p-n триодной структуры, размещен металлический экран 15, который наряду с защитой биполярной n-p-n триодной структуры от электромагнитных помех улучшает фокусировку испускаемого активированным слоем 5 потока электронов. Поэтому экран 15 обычно своим внешним выводом соединяется с корпусом. К P2 подводится, как показано на фиг. 1, электрическое напряжение отрицательной полярности. Внешний вывод коллекторного перехода 11, то есть коллекторный переход находится под положительным потенциалом относительно базы, под обратным смещением и соединен с корпусом ЭЛТ (в собранной конструкции). Для повышения фокусирующего действия экрана 15 его внешний вывод может подключаться через переменный резистор к отрицательному полюсу дополнительного источника.

Катодный узел электроннолучевой трубки работает следующим образом.

При помещении катодного узла ЭЛТ в вакуумированный баллон электроннолучевой трубки и подаче питающего напряжения U_{Π} прямой полярности к эмиттерному переходу биполярной n-p-n триодной структуры и обратной полярности к его коллекторному переходу происходит снижение высоты потенциального барьера эмиттерного перехода до значения $\phi_{\Sigma} - eU_{\phi_{\Sigma}}$, где $U_{\phi_{\Sigma}}$ - напряжение прямой полярности, приложенное к эмиттерному переходу, и интенсивная инжекция электронов из области эмиттера 2 в область базы 1 в соответствии с выражением:

$$I_a = I_s \left(\exp \frac{eU_{\phi_{\Sigma}}}{kT} - 1 \right), \quad (1)$$

BY 6595 C1

где I_s - тепловой ток насыщения p-n перехода.

Инжектированные в базу 1 электроны диффундируют через нее к коллекторной области. Поскольку толщина базы 1 составляет $(0,5...0,8)Ld$, а концентрация донорной примеси эмиттерной области 2 много больше концентрации основных носителей в области базы 1, то коэффициент передачи потока электронов $\alpha \rightarrow 1$ и практически все инжектированные электроны достигают коллекторного перехода. К коллекторному переходу биполярной n-p-n триодной структуры прикладывается напряжение $U_{кб}$ обратной полярности, причем $U_{кб} > U_{бэ}$. Поэтому суммарный потенциальный барьер коллекторной области изменяется и достигает значения, равного $\phi_{к1} + \phi_{к2} + eU_{кб}$. Это приводит к значительному снижению уровня дна зоны проводимости E_{C2} , то есть к резкому повышению энергии электронов в коллекторной области, которые становятся горячими. Благодаря наличию перехода p-i широкозонного полупроводника и i-n гетероперехода в коллекторной области и условию, что толщина слоя 3 широкозонного полупроводника $d_i = (0,3...0,5)Ld$, а толщина слоя узкозонного полупроводника n-типа 4 $d_n = (0,5...0,7)Ld$, достигшие коллекторной области электроны интенсивно экстрагируются к активированному слою 5, становясь горячими, и диффундируют в активированный слой 5, при этом ускоряясь дрейфовым полем n-узкозонного слоя 4. Вследствие низкой работы выхода активированного слоя 5 достигшие внешней поверхности этого слоя горячие электроны эффективно излучаются в вакуумированный рабочий объем ЭЛТ с коэффициентом холодной эмиссии $\alpha \geq 0,5$. Поскольку эмиттерный переход биполярной n-p-n триодной структуры работает при напряжении прямой полярности и в соответствии с выражением (1) не ограничивается величиной напряжения $U_{бэ}$, а при его повышении инжектируемый в область базы 1 электронный ток экспоненциально возрастает, то можно получать при наличии системы теплоотвода и достаточных площадях областей эмиттера 2, базы 1 и коллектора (3, 4) высоких предельных токов в десятки и сотни ампер при незначительной величине управляющего напряжения $U_{бэ} = (1,5...3,5)V$.

Создано экспериментальное устройство - катодный узел электроннолучевой трубки в виде биполярной n-p-n триодной структуры nGaAs-pGaAs-iGaAs-nGe с диаметром эмиттера 4 мм, базы и коллектора 5 мм. При этом толщина слоя эмиттера составляет $(0,8...1)$ мкм, слоя базы $(0,4...0,6)$ мкм. Слой эмиттера из GaAs легирован Sn до концентрации $n \cong 10^{20} \text{ см}^{-3}$, база легирована акцепторной примесью Cd с концентрацией $p \cong 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, коллекторный i-слой широкозонного полупроводника составляет $0,2...0,3$ мкм. n-слой Ge легирован донорной примесью Sb по экспоненциальному закону, а его толщина составляет $(0,3...0,5)$ мкм. Активированный слой из цезия толщиной $(3...7) \cdot 10^{-3}$ мкм. Экспериментальный катодный узел электроннолучевой трубки обеспечивает эмиссию электронов плотностью $0,2...0,5 \text{ А/мм}^2$ при $U_{бэ} = 1,5...2,5 \text{ В}$, $U_{кб} = 10...20 \text{ В}$ при комнатной температуре. Плотность эмиссионного потока электронов регулируется от оптимального значения до нуля путем изменения управляющего напряжения $U_{бэ}$ от 0 до 2,5 В.

Таким образом, благодаря тому, что в предложенном катодном узле ЭЛТ источник электронной эмиссии - твердая многослойная основа выполнен биполярной n-p-n триодной структурой из широкозонного полупроводника, коллекторная область этой структуры представляет гетеропереход из i-слоя широкозонного полупроводника и слоя n-типа узкозонного полупроводника, который легирован по экспоненциальному закону с минимумом концентрации со стороны широкозонного полупроводника, при этом биполярная триодная структура защищена металлическим экраном, решается поставленная задача - чувствительность по управляющему напряжению возрастает с $0,15 \text{ В} \cdot \text{см}^2 \text{ А}^{-1}$ для прототипа до $5 \text{ В} \cdot \text{см}^2 \text{ А}^{-1}$, плотность эмиссионного тока возрастает в десятки раз, а срок службы возрастает с 10^3 ч до 10^5 ч и более.

