

Полевые эмиссионные дисплеи

О. Огуцов

новое направление развития плоских устройств воспроизведения изображения

Несмотря на то, что в настоящее время более 90% мирового рынка плоскочелюстных дисплеев выполнены на основе жидкокристаллических индикаторных устройств, фирмы Японии, Кореи, Франции, США, Китая и других стран активно разрабатывают полевые эмиссионные дисплеи (ПЭД), или дисплеи на базе катодов с автоэлектронной эмиссией. По данным фирмы Stanford Resources, изучающей рынок устройств воспроизведения изображения, в 1996 году в Японии было подано 116 заявок на патенты в области ПЭД, из них 81 — фирмой Сапон и 35 — другими компаниями, многие из которых выпускают ЭЛТ и ЖКИ. Правда, пока только одна французская фирма — PixTech — приступила к опытным поставкам этих устройств. Но уже в ближайшем будущем можно ожидать появления на рынке ПЭД многих фирм.

Интерес к полевым эмиссионным дисплеям объясняется такими их достоинствами, как большой температурный диапазон ($-40^{\circ} \div +85^{\circ}\text{C}$), широкий угол обзора (180°), высокая радиационная стойкость, отсутствие источника обрательной подсветки, низкая потребляемая мощность, высокое быстродействие, малая толщина дисплея.

Принцип работы ПЭД тот же, что и у обычной ЭЛТ, за исключением того, что источником электронов служит острый катод с автоэлектронной эмиссией (рис. 1). Как правило, напряжение между затвором и катодом, при котором возникает автоэлектронная эмиссия, равно 70—100 В, анодное напряжение ускорения электронов — 300—1000 В. Для воспроизведения изображения сигнал видеорегистра схемы управления подается на столбцы, образуемые острыми катодами, а сигнал развертки схемы управления — на строки, образуемые затворами (возможно и противоположное включение строк и столбцов). Для получения цветного изображения анод разделен на красный (R), зеленый (G) и синий (B) прозрачные электроды из оксида олова—индия, соответствующие RGB-люминофорам экрана. Выбор цвета осуществляется переключением напряжения на соответствующий анодный электрод.

Усилия фирм направлены на совершенствование технологии изготовления четырех основных элементов ПЭД: матрицы полевых катодно-затворных элементов (МПКЭ), низ-

ковольтного анодного узла, вакуумной сборки и управляющих схем.

Рассмотрим матрицы полевых катодно-затворных элементов.

Основной узел ПЭД — матрица полевых катодно-затворных элементов (ПКЭ), состоящих из катода (эмиттера) и затвора (сетки). Она изготавливается на изолирующей или проводящей подложке (рис. 2). В первом случае под катодами формируется проводящий электродный слой для подачи напряжения на них. Полевая эмиссия такой структуры определяется уравнением Фаулера-Нордгейма [1]:

$$J = K_1 \cdot \left(\frac{E_k^2}{\varphi} \right) \cdot \exp \left[- (K_2 \cdot \varphi^{3/2}) / E_k \right], \quad (1)$$

где J — плотность тока, φ — работа выхода для материала катода, K_1 и K_2 — постоянные коэффициенты, E_k — электрическое поле вблизи острия катода.

В такой триодной структуре величина электрического поля у острия катода линейно зависит от напряжения на аноде V_α и на затворе V_z [2]:

$$E_k = \beta V_z + \gamma V_\alpha, \quad (2)$$

где β и γ — корреляционные коэффициенты, зависящие от геометрических размеров полевой эмиссионной структуры. При моделировании и расчетах триодных структур в предположении, что верхушка катода находится на одном уровне с затвором, были использованы следующие значения β и γ [3,4]:

$$\beta = 3,14 / r \cdot \ln(16 \cdot R / t) \quad (3)$$

и

$$\gamma = 2 / r \cdot \ln[(2H + r) / r]. \quad (4)$$

В уравнениях (3) и (4) H — расстояние между анодом и катодом, r — радиус кривизны верхушки катода, R — радиус отверстия затвора, t — толщина пленки затвора.

Из уравнений (1)—(4) следует, что величину тока между катодом и анодом в основном определяют материал катода и геометрические параметры триодной структуры — r, R, t, H . Получена также существенная зависимость коэффициента γ от угла катодного конуса α и высоты h [2]. Таким образом, материал и радиус кривизны верхушки конуса (или пирамиды) катода — величины первого порядка, определяющие значение тока эмиссии триодной структуры.

Технология изготовления МПКЭ должна обеспечить создание ПКЭ с минимально возможными размерами при

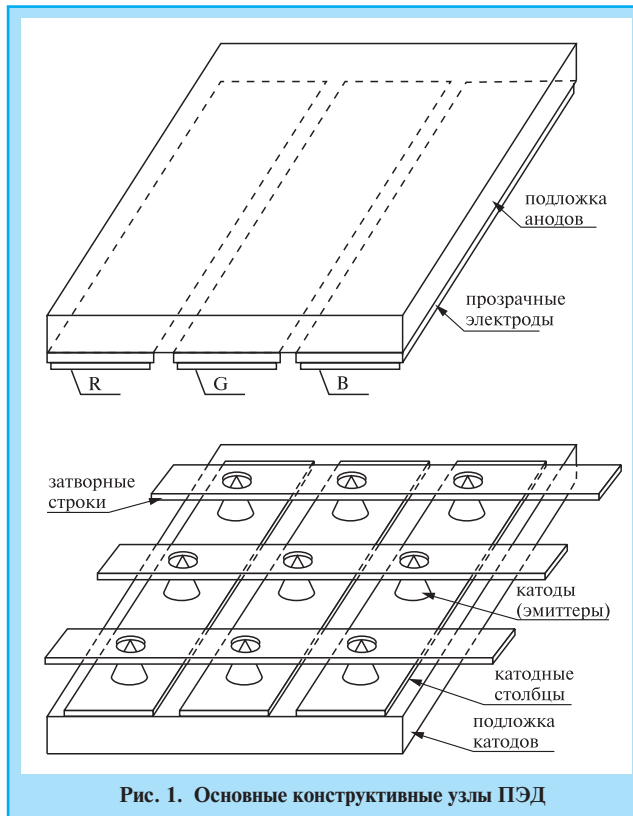


Рис. 1. Основные конструктивные узлы ПЭД

высокой степени воспроизводимости их критических геометрических параметров (r, R и др.) по всей площади матрицы. На базе уравнения Фаулера-Нордгейма вида

$$J = A \cdot V^2 \cdot \exp(-B/V) \quad (5)$$

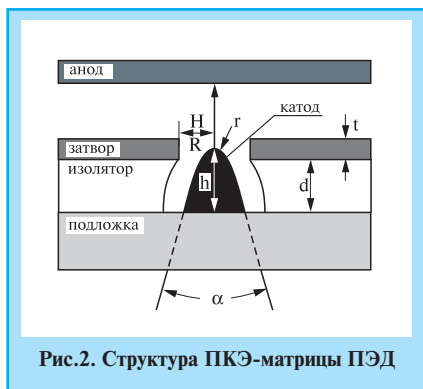


Рис.2. Структура ПКЭ-матрицы ПЭД

и компьютерной программы исследовалось влияние разброса величины эмиссионного тока отдельных ПКЭ матрицы на такие характеристики ПЭД, как изменение яркости по полю дисплея, срок службы, контрастное отношение [5]. При этом считалось, что A — величина постоянная, поскольку она слабее, чем B , влияет на величину J .

Расчеты были проведены для участка дисплея, состоящего из 16 пикселей (по 1 тыс. ПКЭ в каждом пикселе). Анодное напряжение было равно 400 В, коэффициент эффективности люминофорного экрана — 5 лм/Вт и напряжение затвора — 80 В. При расчетах допускалось, что разброс величины B в уравнении (5) подчиняется закону Гаусса со средней величиной B_0 и стандартным отклонением σ . Срок службы ПЭД (уменьшение яркости экрана дисплея на 50%) рассчитывался для ПЭД с двумя типами низковольтных люминофоров и определялся с учетом механизма их старения в соответствии с законом Пфахла (до 200 и 2000 Кл/см² соответственно).

Было установлено, что при разбросе величины B со значением $\sigma \geq 20\%$ характеристики ПЭД нельзя считать удовлетворительными. Для получения типичных характеристик плоских дисплеев: разброс яркости пикселей не более 5%, контрастное отношение (шкала серости) около 64 и срок службы более 10 тыс. ч — необходимо, чтобы σ для B не превышало 10%. Следовательно, в соответствии с уравнениями (1)—(4) суммарный разброс геоме-

трических параметров (r, R, t, H, α, h) и свойств материала катода (ϕ) по полю матрицы также не должен превышать 10%. Это выдвигает очень жесткие требования к технологии изготовления МПКЭ, особенно к обеспечению высокой воспроизводимости свойств материала катодов и размеров ПКЭ по всей площади матрицы.

Из многообразия разрабатываемых МПКЭ можно выделить два класса: на стеклянных и кремниевых подложках. И тот и другой имеет свои достоинства и недостатки, определяющие их области применения. Основное достоинство матриц ПКЭ на стеклянных подложках — возможность изготовления на их основе дисплеев с экраном больших размеров (45 см и более по диагонали). Для матриц ПКЭ на кремниевых подложках характерны высокая воспроизводимость геометрических параметров и стабильность свойств (работы выхода) материала катодов, а

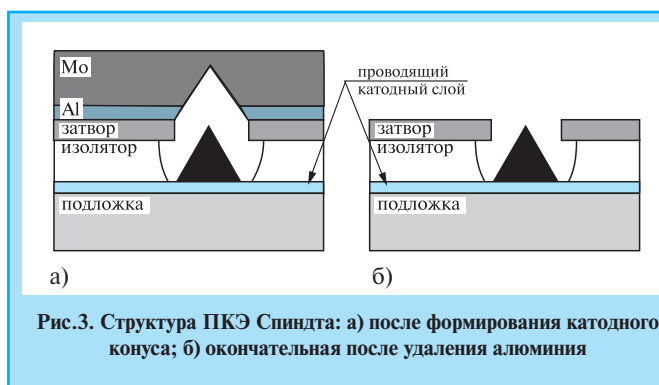


Рис.3. Структура ПКЭ Спиндта: а) после формирования катодного конуса; б) окончательная после удаления алюминия

также возможность изготовления элементов ПКЭ совместно с управляющими транзисторами.

ПКЭ на стеклянных подложках. Первая ПКЭ-структура на стеклянной подложке была предложена еще в 1968 году С.Спиндтом [6]. До сих пор это одна из основных полевых эмиссионных структур, используемых в ПЭД [7]. Изготавливалась такая структура путем последовательного нанесения на изолирующую подложку проводящего слоя катодного электрода толщиной 0,3 мкм, катодно-затворного диэлектрика толщиной 1,0—1,5 мкм (SiO₂, методом химического осаждения из паровой фазы) и слоя затворного электрода толщиной 0,2 мкм (Мо или W, методом электронно-лучевого испарения) (рис. 3). В слое затворного электрода с помощью фотолитографии открывались окна диаметром 1,0—1,5 мкм, и окись кремния в них вытравливалась до слоя катодного

электрода. Затем под углом 5—20° к поверхности подложки и при ее вращении вокруг центра напылялся вспомогательный слой алюминия и вертикально к поверхности — слой молибдена. На этом, последнем, этапе одновременно с осаждением молибденовой пленки на поверхность подложки в окне формировался катодный конус. Слой алюминия удалялся обратной взрывной литографией.

Однако пленки тугоплавких металлов (Mo, W), используемых в качестве материала затвора, в процессе изготовления матрицы склонны к окислению. Это приводит к снижению электропроводности пленки затвора и, следовательно, к нарушению стабильности эмиссии электронов катодом. Кроме того, эти пленки отличаются большими внутренними механическими напряжениями, что вызывает их деформацию и отслаивание от изолирующей пленки SiO₂. Для устранения перечисленных недостатков специалисты фирмы Sony предложили заменить тугоплавкий металл его силицидом (например, WSi_x, $x = 2,4-2,8$) и формировать между затворным электродом и изолирующей пленкой слой поликристаллического кремния толщиной 50—100 нм [7]. Это позволило снять внутренние напряжения металлической пленки и обеспечить хорошую адгезию к SiO₂.

При производстве невозможно до-

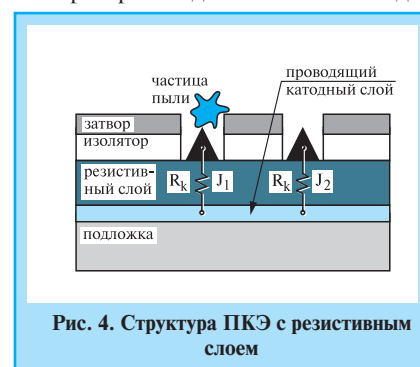


Рис. 4. Структура ПКЭ с резистивным слоем

стичь однородности всех геометрических параметров ПКЭ-матрицы. Это приводит к значительному разбросу величины напряженности электрического поля на катодных остриях и, следовательно, к такому же разбросу порогового напряжения эмиссионного тока. На одном катоде эмиссия может возникнуть при напряжении между

катодом и затвором 50 В, а на другом — при 100 В, тогда как третий катод при 100 В вследствие самодиффузии и нагрева может выйти из строя. Разрушение эмиттеров сокращает срок службы и уменьшает выход годных ПЭД. Изучавшие это явление в катодах с радиусом кривизны менее 10 нм ученые НИИ физических проблем (Зеленоград) и Университета Гонконга [8,9] пришли к выводу, что нагрев и самодиффузия катодов приводят к значительному ограничению плотности тока и увеличению радиуса кривизны вершины катода.

Для снижения неравномерности эмиссии между отдельными ПКЭ матрицы Роберт Майер предложил ввести в цепь катода вертикальное или латеральное сопротивление [10,11]. Для этого в конструкции с вертикальным сопротивлением в цепи катода между катодными электродным и изолирующим слоями формировался резистивный слой с удельным сопротивлением от 10^2 до 10^6 Ом·см [12]. Образованное в результате между катодом и катодным электродом вертикальное сопротивление R_K (рис. 4) играет роль отрицательной обратной связи ПКЭ (увели-

вающей частицы (например, пылинки) между катодом и затвором. Тем самым обеспечивается нормальный режим работы соседних катодов, что очень важно для ПЭД больших размеров с более чем 10^8 ПКЭ. Однако в случае прокола резистивного слоя (рис. 5а) затвор через частицу пыли может замкнуться на проводящий катодный электрод и нарушить работу соседних ПКЭ. Для исключения таких отказов специалисты фирмы Sony предложили создать под катодом окно в проводя-

размещения ПКЭ на подложке сопротивления катодов могут сильно отличаться друг от друга из-за разного расстояния от катодного электрода.

Для устранения недостатков двух структур при сохранении их достоинств была предложена новая конструкция ПКЭ с вертикальным и латеральным резисторами, последовательно включенными с катодом [17]. Вертикальный резистор формируется в резистивной пленке между катодом и проводящим электродным слоем на

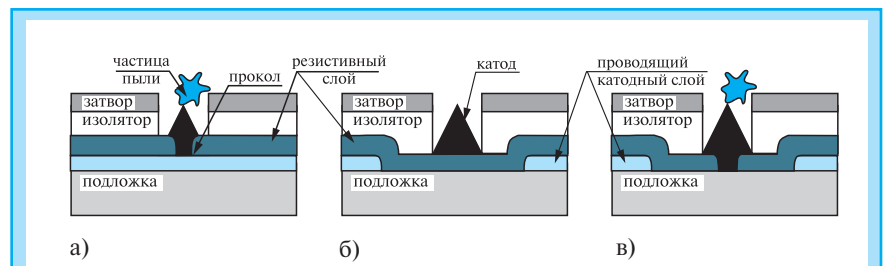


Рис.5. Структура ПКЭ без проводящего слоя под катодом: а) случай прокола резистивного слоя при наличии частицы пыли; б) формирование латерального сопротивления в цепи катода; в) исключение прокола при попадании частицы пыли

щем катодном электроде. В результате в цепи катода образуется латеральное сопротивление (рис. 5б), что исключает замыкание между затвором и катод-

изолирующей подложке, латеральный — в резистивной пленке между проводящим электродным слоем на изолирующей подложке и катодной сеткой (рис. 6). Сопротивление латерального резистора зависит от зазора d и постоянно для каждого катода, так как зазор одинаков по всему периметру сетки. При протекании эмиссионного тока через катод латеральный резистор ограничивает падение напряжения на вертикальном, обеспечивая тем самым высокую плотность тока.

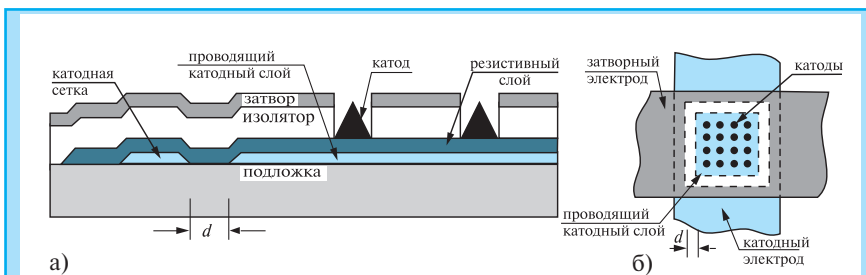


Рис.6. Структура матрицы ПКЭ с латеральными и вертикальными резисторами в катодах: а) вид спереди (разрез); б) вид сверху

чение тока эмиссии приводит к уменьшению напряжения на катоде, а уменьшение тока эмиссии — наоборот), стабилизирует и выравнивает эмиссию катодов. Введение резистивного слоя в структуру подавляет флуктуацию эмиссионного тока катодов во времени. Ученые исследовательского института фирмы Matsushita, изучавшие влияние величины вертикального сопротивления на стабильность работы МПКЭ, установили, что наилучшие результаты достигаются при 50 МОм и более [13].

Конструкция ПКЭ с сопротивлением в катоде устраняет также возможность короткого замыкания между затвором и проводящим слоем катодного электрода при попадании прово-

дным слоем в случаях прокола катодного электрода или попадания на катод частиц пыли (рис. 5в) [14]. Возможен прокол изолирующего слоя. Эта проблема решена специалистами фирмы Coloray Display путем нанесения двухслойной изолирующей пленки [15].

Анализ достоинств и недостатков двух типов структур (с вертикальным и латеральным сопротивлением) с точки зрения электрической и термической стабильности показал, что структура с латеральным сопротивлением превосходит структуру с вертикальным по электрической устойчивости в 10, а по термической — в 100 раз [16]. Таким образом, вертикальный резистор ограничивает плотность тока катода. Но и латеральная структура не лишена недостатков: при больших плотностях

В последнее время разработчики полевых катодно-затворных элементов уделяют большое внимание структурам латерального типа с тонкопленочными катодами. Такие ПКЭ значительно проще в изготовлении и имеют более высокую воспроизводимость и однородность геометрических параметров по сравнению с ПКЭ Спиндта. Интересная структура этого типа предложена фирмой Raytheon [18]. Катод толщиной 30 нм, затвор и управляющий электрод, позволяющий регулировать режим работы ПКЭ, выполнены на пленках молибдена толщиной 0,1—0,3 мкм. В качестве изолирующих могут использоваться пленки SiO_2 толщиной 0,5—1,0 мкм; диаметр окна затворного и катодного слоев — 1,0—2,0 мкм (рис.7).

Оригинальная конструкция латерального тонкопленочного ПКЭ предложена разработчиками Массачусет-

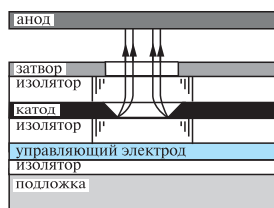


Рис. 7. Структура ПКЭ латерального типа

ского технологического института [19]. Катод в таком ПКЭ изготавливается на пленке тугоплавкого металла (TiW, Mo, W) толщиной 20–30 нм с помощью обычной фотолитографии.

Для механической прочности катод поддерживается с двух сторон пленкой диэлектрика — нитрида кремния толщиной 150 нм (рис. 8). С нижней и верхней сторон катода сформированы два затвор-

фии на ней формируется маска из SiO₂ (рис. 9а). Для получения катодного конуса с острой вершиной проводятся процессы изотропного травления кремния и повторного термического окисления подложки (рис. 9б) с последующим осаждением пленок SiO₂, толщина которой соответствует высо-

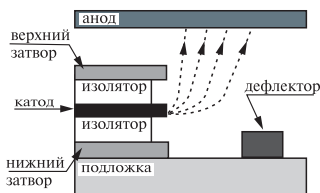


Рис. 8. Структура ПКЭ латерального типа с дефлектором

те катода (1,0–1,5 мкм), и затворного электрода (Mo) толщиной 0,1–0,2 мкм (рис. 9в). На последнем этапе (рис. 9г) открытая пленка SiO₂ стравливается. Основное достоинство этой структуры — простота изготовления. Однако из-за высокой пористости осаждаемой пленки дву-

окиси кремния ее пробивное напряжение мало, а ток утечки велик. Кроме того, вследствие большого диаметра затворного отверстия рабочее напряжение

термического окисла предложен специалистами Исследовательского центра полупроводников при Университете Республики Корея [21]. Согласно этому методу, после изотропного травления и выращивания термического окисла на пластину осаждается пленка нитрида кремния, которая затем, в процессе сухого травления, удаляется с поверхности пластины, сохраняясь только на боковых поверхностях катодного острия (рис. 10а). Далее снова проводится термическое окисление и формируется затворный изолятор, после чего пленка нитрида кремния окончательно удаляется и осаждается затворный электрод (Mo) (рис. 10б). На последнем этапе проводится выправливание термического окисла в окне (рис. 10в). В такой структуре радиус вершины катода равен 40 нм, высота катода — 1,1 мкм, диаметр окна затвора — 1,6 мкм.

В дальнейшем работы Исследовательского центра сосредоточили на проблеме ускорения процесса получения затворного термического окисла. С этой целью на подложке *n*-типа формировался пористый кремний [22]. Процесс проводился в 10%-ном растворе плавиковой кислоты при плотности тока 2 мА/см². При этом подложка выполняла функцию анода, а платиновая проволочная сетка — катода.

Чтобы уменьшить диаметр окна затвора в структуре, подобной показанной на рис. 9, перед нанесением затворного электрода структура отжигалась при температуре 900–950°C для уплотнения пленок окиси кремния [23]. Это позволило уменьшить диаметр маскирующей пленки окиси кремния, а следовательно и апертуру затвора, на 42–45%.

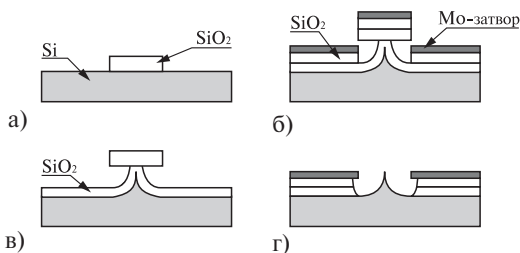


Рис. 9. Технологические этапы изготовления ПКЭ на кремниевой подложке:

а) формирование SiO₂-маски; б) изотропное травление кремния и термическое окисление; в) осаждение пленок окиси кремния и металла затвора; г) травление окиси кремния

ных электрода толщиной 0,5 мкм каждый. На расстоянии 2–4 мкм от этого узла расположен пленочный электрод-дефлектор, на который подается отрицательное по отношению к катоду напряжение, отклоняющее эмиттируемые электроны на анод. Достоинством ПКЭ такой конструкции является большой срок службы, поскольку верхний затворный электрод выполняет функцию физического экрана, защищающего катод от воздействия высокоэнергетических положительных ионов. Однако относительно большая величина затворного тока латеральных ПКЭ ограничивает их применение в ПЭД.

ПКЭ на кремниевых подложках. Простейшая структура этого типа изготавливается с помощью изотропного травления кремния [20]. Сначала кремниевая подложка термически окисляется и методами фотолитогра-

затвора этих ПКЭ больше, чем у элементов на стеклянных подложках. И наконец, вследствие того, что электронно-лучевой и спаритель, используемый для осаждения металлической пленки, имеет точечный источник, разброс значений диаметра отверстия велик. Усилия разработчиков направлены на устранение этих недостатков ПКЭ данного класса.

Новый метод изготовления кремниевых ПКЭ с использованием только

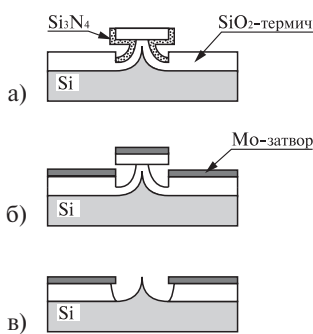


Рис. 10. Технологические этапы изготовления кремниевых ПКЭ с термическим окислом:

а) удаление пленки нитрида кремния с поверхности пластины; б) окончательное удаление пленки нитрида кремния и осаждение затворного электрода; в) выправливание термического окисла

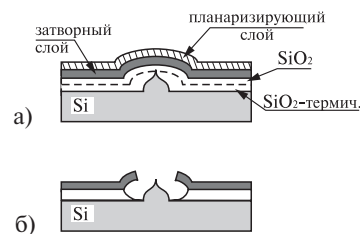


Рис. 11. Технологические этапы изготовления кремниевых ПКЭ с высоким апертурным отношением:

а) нанесение второго слоя затворного диэлектрика, легированного поликремнием и планаризирующего слоя; б) травление планаризирующего, затворного слоев и затворного диэлектрика

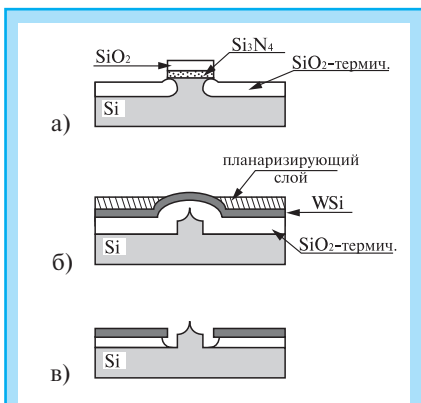


Рис. 12. Технологические этапы изготовления ПКЭ с высокой воспроизводимостью формы катода:

а) анизотропное травление термического окисла кремния и кремния; б) формирование слоев термического окисла, силицида вольфрама и планаризации; в) травление слоев силицида вольфрама, планаризации и термического окисла

Специалисты корейского Исследовательского центра предложили интересный метод изготовления кремниевых ПКЭ с высоким апертурным отношением (отношение высоты катода к диаметру отверстия затвора) [24]. Наряду с рассмотренными выше процессами выращивания двойного термического окисла и изотропного травления процесс предусматривает анизотропное травление в смеси $\text{SF}_6 + \text{O}_2$. В качестве материала затворного электрода используется легированная поликремниевая пленка. Вид такой структуры показан на рис. 11. Высота катода составляет 1,1 мкм, радиус вершины — менее 10 нм, диаметр отверстия затвора — 0,4 мкм. При таких геометрических размерах напряжения включения затвора равно 49 В, эмиссионный ток — 292 нА/катод при затворном напряжении 70 В, анодное напряжение — 450 В.

Специалисты фирмы NEC сосредоточили усилия на достижении хорошей воспроизводимости формы катодов при высоких эмиссионных характеристиках [25]. По их технологии, маска, определяющая диаметр катода, формируется методами фотолитографии на пленках нитрида кремния и двуокиси кремния. Катодное острие изготавливается в два этапа анизотропного травления кремния — до и после первого этапа термического окисления пластины (рис. 12). Затворный электрод выполнен из силицида вольфрама. Высота катода изготовленных на пластине диаметром 150 мм ПКЭ равна 650 нм при разбросе этого параметра ± 35 нм, диаметр отверстия

затвора — 800 нм. Напряжение включения затвора такой структуры — 35 В, эмиссионный ток — 500 нА/катод при напряжении на затворе 70 В.

Перспективное направление в изготовлении кремниевых ПКЭ — обеспечение высокой однородности и малого радиуса кривизны вершины катодов за счет изготовления их на кремнии определенной кристаллографической ориентации. Специалисты фирмы Thomson-CSF исходным материалом ПКЭ выбрали кремний с ориентацией $\langle 100 \rangle$ и удельным сопротивлением от 10^{-3} до нескольких единиц Ом·см [26]. В соответствии с предложенным ими методом в окна окисла (наносимого любым способом) толщиной 1 мкм проводилась селективная эпитаксия кремния (в смеси $\text{SiH}_4 + \text{H}_2 + \text{HCl}$ при атмосферном давлении и температуре 1000—1100°C или пониженном давлении и 850—950°C). В дополнительно нанесенном слое диэлектрика (любой материал) вытравливались окна над катодными пирамидами. Затем осаждалась металлическая (Mo, W или Cr) пленка затворного электрода толщиной 0,1—0,2

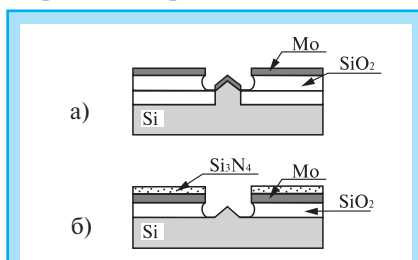


Рис. 13. Структуры кремниевых ПКЭ, изготовленных на кремнии с ориентацией $\langle 100 \rangle$:

а) по технологии с использованием метода локальной эпитаксии кремния; б) по усовершенствованной технологии

мкм (рис. 13а). Недостаток метода — в том, что совмещение оси затворного отверстия и вершины пирамиды зависит от точности совмещения оборудования, используемого на последнем этапе фотолитографии. Чтобы решить эту проблему, разработчики Thomson-CSF последовательно наносили на подложку кремния с ориентацией $\langle 100 \rangle$ слои двуокиси кремния, молибденового затворного электрода и защитного нитрида кремния, в которых методами фотолитографии и реактивного ионного травления формируется окно [27]. Катодное острие получают в процессе селективного эпитаксиального выращивания кремния (рис. 13б).

Работы по развитию локальной эпитаксии для формирования ПКЭ продолжают. На фирме Siemens, например, локальная эпитаксия используется для одновременного изготовления катода и затвора [28], Thomson-TET применяет ее для одновременного формирования катода и катодного резистора. [29].

Литература

1. C.A. Spindt et al., *Research into Micron-Size Emission Tubes.* — IEEE Conf. on Tube Techniques, 1966
2. D. Nicolaescu. 7th Inter. Vac. Micr. Conf. — France (1994), p.139
3. K.L. Jensen et al. 8th Inter. Vac. Micr. Conf. — USA (1995), p.216
4. K. Ashihara et al. 8th Inter. Vac. Micr. Conf. — USA (1995), p.104
5. C.Xie. 8th Inter. Vac. Micr. Conf. — USA (1995), p. 149
6. C.A. Spindt. — J. Appl. Phys. 39, 1968, p.3504
7. Европейский патент 048381 В1 МКИ H01J 1/30. Оpubл. 16.08.1995 г.
8. D.V. Eremchenko et al. 9th Inter. Vac. Micr. Conf. — Russia (1996), p.39
9. H.Zhao et al. 9th Inter. Vac. Micr. Conf. — Russia (1996), p.117
10. U.S. Patent N 4 940 916. Оpubл. 10.17.1990 г.
11. U.S. Patent N 5 194 780. Оpubл. 16.03.1993 г.
12. R. Mayer. 4th Inter. Vac. Micr. Conf. — Japan (1991), p.6—9
13. A. Kaneko, J. Sumita, 7th Inter. Vac. Micr. Conf. — France (1994), p.80
14. Европейский патент 0 503638 В1 МКИ H01J 1/30. Оpubл. 19.06.1996 г.
15. U.S. Patent N 5 075 591 МКИ H01J 1/30. Оpubл. 24.12.1991 г.
16. J.D. Levine. 8th Inter. Vac. Micr. Conf. — USA (1995), p. 67
17. S. Itoh. 8th Inter. Vac. Micr. Conf. — USA (1995), p. 99
18. Заявка на Европейский патент 0 501 785A2, МКИ H01J 1/30. Оpubл. 02.09.1992 г.
19. Johnson et al. 9th Inter. Vac. Micr. Conf. — Russia (1996), p.663
20. K. Betsui. 4th Inter. Vac. Micr. Conf. — Japan (1991), p.26
21. H.S. Uh et al. 7th Inter. Vac. Micr. Conf. — France (1994), p.387
22. D. Kim et al. 8th Inter. Vac. Micr. Conf. — USA (1995), p. 176
23. U.S. Patent N 5 316 511 МКИ H01J 1/30. Оpubл. 31.05.1994 г.
24. J.H. Lee 9th Inter. Vac. Micr. Conf. — Russia (1996), p.380
25. H. Takemura et al. 9th Inter. Vac. Micr. Conf. — Russia (1996), p.363
26. Заявка на патент (Франция) 2 629 264 МКИ H01 J1/30. Thomson-CSF. Оpubл. 28.09.1989 г.
27. Заявка на патент (Франция) 2 644 287 МКИ H01 J1/30. Thomson-CSF. Оpubл. 14.09.1990 г.
28. Европейский патент 0 493 676 В16 МКИ H01 J9/02. Оpubл. 08.02.1995 г.

**Конкуренция
в области
разработки
полевых
эмиссионных
дисплеев
усиливается**

29. Заявка на патент

дайджест

(Франция) 2 650 119
МКИ H01 J1/30.
Thomson-TET. Опубл.
25.01.1991 г.

На конференции по плоским информационным дисплеям, проведенной фирмой Stanford Resources (1996 год), представители PixTech сообщили о передаче технологии изготовления полевых эмиссионных дисплеев (ПЭД) одному из азиатских изготовителей ЖКИ с активной матричной адресацией (возможно, тайваньской фирме — Unipac или Picvue). Благодаря тому, что 80% оборудования, используемого при производстве ЖКИ, можно применять и для изготовления ПЭД, тайваньский партнер сможет быстро переоборудовать свою производственную линию для выпуска новых изделий.

В середине 1997 года PixTech планировала начать опытные поставки цветных ПЭД с размером экрана по диагонали 13 см (тот же размер, что и у монохромных дисплеев зеленого свечения) для портативного контрольно-измерительного оборудования. Эффективность опытных цветных дисплеев составляет 3 лм/Вт при напряжении на аноде 350 В. При увеличении напряжения до 600 В эффективность возрастает до 4,5 лм/Вт. В дисплее с обратной структурой (т.е. люминофор нанесен на заднюю, а не на переднюю стеклянную панель) при 900 В эффективность может достигать 6 лм/Вт. PixTech продала еще две лицензии на свою ПЭД-технологии. Один из лицензиатов — японская фирма Futaba, которая должна вскоре выпустить на рынок дисплеи ПЭД-типа, работающие при столь же низких анодных напряжениях, что и устройства фирмы PixTech. Второй — фирма Motorola, активно разрабатывающая ПЭД на большие напряжения (2—3 кВ) и строящая новое предприятие по их производству.

Близка к выходу на этот рынок и американская фирма Candenscent Technologies (бывшая Silicon Video). В течение двух лет она отработывала свою технологию на линии по изготовлению ПЭД, называемых фирмой тонкими ЭЛТ. В конце 1997 года она планирует начать опытные поставки цветного дисплея с размером экрана по диагонали 12,7 см, а в 1998 году — индикаторного устройства на подложке размером 550x650 мм для ноутбуков.

Принципиально новая структура цветного индикатора ПЭД-типа была представлена на выставке EuroDisplay—96 фирмой Canon. Разработка нового прибора, названного ПЭД с поверхностной проводимостью электронов (SED), заняла восемь лет. Он отличается простотой структуры и низким управляющим напряжением. У прибора нет затвора или сеточного электрода как в обычных катодно-затворных элементах Спиндта. В основу его работы положен принцип извлечения электронов при прохождении тока через тонкую пленку, возможность которого установлена еще 30 лет назад. В середине планарного прямоугольного тонкопленочного (на основе сверхчистого окисла палладия) катода выплавляется окно с точно заданными малыми размерами. При подаче напряжения 10 В на половинки разделенного катода между ними возникает поток электронов, приблизительно 50% которых под воздействием электрического поля индикатора направляется на люминофор. Матрица межсоединений индикатора изготавливается методами трафаретной печати. Процесс фотолитографии проводится лишь для формирования катодов. Фирма продемонстрировала полноцветное устройство с размером экрана по диагонали 7,8 см, эффективностью примерно 10 лм/Вт и информационной емкостью 80x80 пикселей. Создан и опытный образец с диагональю экрана 25,4 см и яркостью свечения в среднем 170 кд/м² при потребляемой мощности 6,2 Вт (управляющее напряжение 15 В, анодное — 6,5 кВ). По расчетам разработчиков, мощность, потребляемая ПЭД с диагональю экрана 100 см, будет равна 99 Вт.

ПЭД, представленный на Международной выставке по электронным приборам (IEDM) фирмой Toshiba, изготовлен с помощью анизотропного жидкостного травления кремния, вакуумного осаждения материала катода и электростатического присоединения стеклянной подложки с алюминиевыми выводами. Выбор такой технологии объясняется чрезвычайно малым диаметром катодного острия — всего 2,5—5 нм (против 30—200 нм при изготовлении обычными методами распыления). Другое достоинство этой технологии — возможность изготавливать эмиттеры на основе таких материалов, как алмаз и нитрид галлия, что позволит создавать дисплеи с относительно низкими рабочими напряжениями и получать стабильную эмиссию электронов при относительно низком вакууме. На фирме изготовлены ПЭД-устройства с 10 тыс. катодов.

Дисплей на базе катодов с полевой эмиссией фирмы Fujitsu выполнен с помощью обычной фотолитографии с разрешением 1 мкм и стандартной технологии осаждения пленок. Но для создания опытного образца с размером экрана по диагонали 5 см и информационной емкостью 160x120 пикселей потребовалось ввести несколько новых операций. Чтобы сохранить высокий вакуум панели, однородный слой геттерирующего материала наносился на заднюю пластину перевернутой трехслойной структуры вместо размещения его в откачной трубке. На переднюю пластину осаждались прозрачные электроды из окиси свинца—олова и катоды с полевой эмиссией. В средней пластине с алюминиевыми электродами и люминофорным покрытием формировались небольшие отверстия (диаметр 0,1 мм), обеспечивающие доступ выделяемых люминофором газов к геттерирующему слою. В опытном образце индикаторной панели для формирования элемента изображения требуется всего шесть катодов против нескольких сотен и тысяч в устройствах фирм PixTech и Candenscent Technologies соответственно. Утверждается, что благодаря новому расположению геттерирующего материала срок службы индикатора достигнет 30 тыс. часов.

Electronic Engineering Times, 1996, N 933, p. 1, 14

По утверждению специалистов фирмы Pioneer Electric (Япония), разработанный ими прибор с холодным катодом увеличит коэффициент преобразования плоских индикаторов в 150 раз по сравнению с устройствами на базе ЭЛТ. Он найдет применение и в быстродействующих вакуумных микроэлектронных устройствах. Яркость обычного люминофорного индикатора при использовании нового высокоэффективного излучателя электронов (Need) составляет 80 тыс. К/м². Как утверждают разработчики, это максимальная яркость для приборов с холодным катодом, в том числе с полевой эмиссией.

Новый излучатель имеет структуру МДП-диода. На подложку осаждаются слои алюминия толщиной 300 нм (катод), кремния — 5000 нм, окиси кремния — 400 нм и платины — 10 нм (анод). При напряжении между анодом и катодом 60 В платиновый анод начинает испускать электроны. При 90 В ток эмиссии равен 1,8 мА/см². Коэффициент преобразования энергии прибора составляет 30% (для ЭЛТ — 0,2%). Изображение на экране индикатора воспроизводится при напряжении между анодом и люминофором 5 кВ. Электроны поступают к поверхности анода благодаря так называемому эффекту Негиши (в честь открывшего его инженера Нобуаки Негиши фирмы Pioneer), а не туннельному эффекту (для проявления которого толщина диэлектрика не должна превышать 12 нм). В результате толщина слоя диэлектрика нового устройства может быть равна 400 нм.

Ученые фирмы изучают характеристики устройства, его срок службы, надежность и промышленную технологию, а также возможность снижения анодного напряжения за счет уменьшения толщины диэлектрика.

Electronic Engineering Times, 1997, N 948, p. 20

**В Сандийской
лаборатории
надеются
улучшить качество
ПЭД**

В результате исследований люминофоров, проведенных в Сандийской национальной лаборатории, возможно, будут повышены эффективность и качество индикаторных панелей. Это может привести к замене ЖКИ в военных системах индикаторами на основе катодов с полевой эмиссией. Работа проводится при поддержке Министерства обороны США в рамках трехлетнего проекта фирмы Motorola по совершенствованию люминофоров для ПЭД-устройств. В ходе работ установлено влияние дефектов на излучение. Так, интенсивность зеленого свечения люминофора зависит от наличия или отсутствия атомов кислорода в окисле цинка: если вакансии занимают единичные электроны, люминофор при токе средней величины излучает зеленый свет.

Electronic Engineering Times, 1996, N 923, p. 39

**Новый прибор
увеличивает
коэффициент
преобразования
плоских
индикаторов
в 150 раз**

дайджест