

Хлоридно-гидридная эпитаксия характеризуется использованием при синтезе твердых растворов гидридов элементов V группы и хлоридов элементов III группы таблицы Менделеева. Гидриды фосфора и мышьяка являются нестабильными при температуре эпитаксии 873–973 К, причем разложение гидридов фосфора идет медленнее, чем гидридов мышьяка. Поэтому при рассмотрении процесса эпитаксии на молекулярном уровне мы можем полагать, что концентрация неразложившихся молекул фосфина значительно превосходит концентрацию молекул арсина.

Для роста эпитаксиальных слоев необходима поставка к поверхности атомов водорода для удаления атомов хлора с поверхности роста. Процесс поставки атомов водорода осуществляется путем пиролиза молекул водорода, молекул фосфина и арсина. Так, при взаимодействии молекул фосфина с адсорбированными молекулами хлористого индия у поверхности роста, происходит гетерогенное разложение молекул фосфина и поставка атомов водорода к поверхности с последующим удалением атомов хлора с нее в виде молекул хлористого водорода. При этом мы имеем два процесса, у поверхности роста, разложение молекул фосфина и диссоциацию молекул водорода. Следует отметить, что скорость удаления атомов хлора с поверхности роста значительно превосходит скорость поставки атомов мышьяка и фосфора к ней. В силу статистического процесса взаимодействия молекул фосфина с поверхностью роста из-за различий в скорости поставки атомов мышьяка и фосфора к поверхности роста, а также скорости удаления адсорбированных атомов хлора имеется неоднородное распределение по поверхности металлических пятен индия. Термодинамический анализ показывает, что при температуре эпитаксии 873–893 К энергетически более выгодным является процесс захвата атомами индия атомов мышьяка, что приводит к преимущественному росту в местах образования пятен индия составов с большим процентным содержанием

атомов мышьяка. Данная модель позволяет объяснить формирование различных как по составу, так и по размерам микрообластей в эпитаксиальных пленках  $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}/\text{InP}$  ( $0,1 < x < 0,7$ ). Следует отметить, что, с увеличением парциального давления фосфина  $P^* \geq 7,2 \cdot 10^2$  Па количество атомов фосфора над подложкой становится достаточно большим и вероятность их взаимодействия с атомами индия увеличивается, что приводит к формированию микроблочной структуры.

Морфологические исследования эпитаксиальных слоев  $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}/\text{InP}$  ( $0,1 < x < 0,7$ ), выращенных хлоридно-гидридной эпитаксией на подложках фосфида индия, показывают, что на поверхности образуется характерная морфологическая сетка. Гетероструктуры  $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}/\text{InP}$ , выращенные с переходным слоем более 1,0 мкм, обладали зеркальной поверхностью с характерной рельефной поверхностью и морфологической сеткой. Шаг морфологической сетки зависел от толщины переходного слоя и изменялся от 2,5 мкм для  $d_{\text{пер.}} = 8$  мкм до 10 мкм для  $d_{\text{пер.}} = 3$  мкм.

Металлографические исследования показывают, что дислокации расположены вдоль морфологической стенки, а их плотность для гетероструктур с толщиной переходного слоя 3 мкм составляла  $5 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$ .

Таким образом, анализ спектров люминесценции гетероструктур  $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}/\text{InP}$  ( $0,1 < x < 0,7$ ) показал, что степень неоднородности состава твердого раствора  $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}/\text{InP}$  зависит от парциального давления неразложившегося гидрида фосфора. Предлагается модель формирования неоднородных по составу и размерам микрообластей в эпитаксиальных слоях  $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}/\text{InP}$  ( $0,1 < x < 0,7$ ).

#### Литература

1. Быковский В.А. Особенности роста и излучательная рекомбинация эпитаксиальных слоев  $\text{InAs}_x\text{P}_{1-x}$  ( $0 < x < 0,05$ ), выращенных газовой эпитаксией на подложках  $\text{InP}$  / В.А. Быковский, С.А. Манего, В.И. Осинский // Журн. прикл. спектроскопии, 1990.– Т. 52, № 1. – С. 121–126.

УДК 624.94

### ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФАР ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ДЕТАЛЯМИ ВТОРИЧНОЙ ОПТИКИ

Балохонов Д.В.<sup>1</sup>, Сернов С.П.<sup>1</sup>, Коничева Л.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>ОАО «РУДЕНСК»

Марьина горка, Республика Беларусь

Существующие конструкции фар транспортных средств предусматривают использование в качестве источника света ламп или светодиодов. Распределение силы света фар строго задано международными Правилами ООН. Важнейшим элементом этого распределения является резкая светотеневая граница, выше которой свет фары

распространяться не должен, чтобы исключить вероятность ослепления водителей встречных транспортных средств и дорожно-транспортных происшествий.

Так как все современные источники света, которые по величине светового потока могут применяться в фарах (лампы накаливания, мощ-

ные светодиоды, многокристалльные светодиоды и светодиодные матрицы) имеют достаточно широкое распределение силы света, то в фарах неизбежно применение деталей вторичной оптики.

Деталь вторичной оптики представляет собой оптический элемент для формирования заданного распределения силы света источника, который располагается на определенном расстоянии от источника света (порядка десятикратного размера его излучающей области). К таким деталям относят в основном рефлекторы и линзы.

*Рефлекторы* применяются почти во всех конструкциях фар. При этом в фарах на основе ламп накаливания рефлекторы изготовлены из тонкого металла или металлизированной пластмассы, что уменьшает массу фары и улучшает ее устойчивость к ударам и вибрации. У изделий этого типа коэффициент отражения со временем уменьшается в результате окисления металла рефлектора.

В светодиодных фарах комбинированной схемы (*BILED*) применение мощных светодиодов позволяет реализовать как ближний, так и дальний свет, а рефлектор представляет собой массивную деталь из алюминиевого сплава, которая работает как радиатор. Это определяет большую толщину стенок рефлектора, наличие ребер и крепления под вентилятор активного охлаждения, что существенно увеличивает массу рефлектора. При этом центр масс узла практически совмещен со светодиодом, а оптическая ось фары практически всегда не совпадает с механической осью рефлектора. В результате этого фары такой конструкции имеют низкую устойчивость к вибрации и при движении автомобиля возможен эффект «дрожания» пятна света на дороге, что отрицательно влияет на зрение и восприятие водителя в темное время суток. Кроме этого, на больших расстояниях это может вызвать «случайное» ослепление встречных водителей из-за колебаний автомобиля на небольших неровностях дороги, которое невозможно отследить, проверяя неподвижный автомобиль на ровной площадке.

Алюминий, из которого сделан рефлектор в фарах такой конструкции, склонен к окислению, и при длительной эксплуатации из-за этого уменьшается коэффициент отражения рефлектора.

В светодиодных фарах матричной системы (*Matrix Headlight* или *Pixel Headlight*) массивные рефлекторы применяются редко, но встречаются цифровые микрзеркальные устройства (*DMD, Digital micromirror device*), которые являются микромеханическим аналогом рефлекторов. Их масса и размеры достаточно малы, чтобы при жестком креплении не нарушать соосности оптической системы и не вызывать проблем из-за неизбежных вибрации. Эти рефлекторы изготовлены по технологии МЭМС из кремния, поэтому коэффициент отражения у них почти не зависит от времени.

*Линзы* представляют собой детали, работающие на пропускание. Их широко применяют как вспомогательные детали, так как основная роль по концентрации светового потока источника принадлежит рефлекторам.

В фарах с лампами накаливания линзу совмещают с рассеивателем, создавая поверхность по типу линз Френеля на внутренней его стороне. Это позволяет «довернуть» свет на нужный угол и осуществить локальную коррекцию распределения силы света источника. Такие линзы-рассеиватели делают из стекла или пластика по технологии штамповки или литья под давлением, так что их масса невелика, а прочность позволяет им выполнять функции корпусной детали.

В светодиодных фарах комбинированной схемы линзы играют значительную роль, так как эти фары работают по принципу проектора, причем в качестве проецируемого изображения выступает граница металлической шторки, располагаемой перед источником. Такие линзы изготовляют из высококачественного стекла или пластика по технологиям, позволяющим с большой точностью соблюсти форму поверхности линзы (как правило, это поверхности четвертого или более высоких порядков). Масса получаемой детали велика, и, будучи расположенной сравнительно далеко от центра тяжести, она способна существенно уменьшить устойчивость всей фары к вибрации. Шторка, присутствующая в фарах такой конструкции, также подвержена вибрации. Несмотря на небольшую массу, колебания шторки способны исказить светотеневую границу фары даже на стоящем транспортном средстве со включенным двигателем.

В светодиодных фарах матричной схемы массивные линзы являются основным элементом проекционной системы, но отсутствие массивного рефлектора позволяет создать устойчивую к вибрации конструкцию с центром тяжести внутри линзы, что обеспечивает надежность и срок службы изделия.

Таким образом, ключевыми механическими параметрами деталей вторичной оптики фар транспортных средств являются их масса и расстояние от центра тяжести фары, так как именно эти параметры влияют на устойчивость изделия к вибрации и определяют его надежность.

Следует отметить, что надежность фары не всегда определяется катастрофическим отказом источника света. Например, в случае светодиодных фар, возможны параметрические отказы, обусловленные деградацией светового потока, поскольку характеристики светодиодов зависят как от тока инжекции и температуры, так и от времени. В результате этого дорогостоящая фара может перестать удовлетворять требованиям ТНПА задолго до катастрофического отказа источника света.

Это же относится к вибрации, вызывающей смещение составляющих проекционной оптической системы деталей, когда фара светит, но ее распределение силы света отличается от заданного в ТНПА, в результате смещения тяжелой линзы.

Чтобы избежать указанных ситуаций и обеспечить устойчивость фар транспортных средств к вибрации и их надежность, предлагается использовать следующие рекомендации при конструировании фар транспортных средств:

1. Максимально облегчить конструкцию фары уже на этапе разработки путем использования полимерных и композитных деталей, где это возможно. Меньшая масса изделия в целом позволяет уменьшить силы, действующие на детали фары при вибрации.

2. Использовать единичные мощные светодиоды в качестве источника света. Такие светодиоды не только имеют сравнительно низкую потребляемую мощность, но и устойчивы к вибрации за счет своего малого размера, массы и отсутствия слабо закрепленных деталей (как, например, нить у лампы накаливания). Матричные светодиоды и многокристальные светодиоды применять нецелесообразно, так как управление каждым из пикселей такого светодиода требует как минимум микроконтроллера в фаре, а стандартом является использование бортового компьютера. Это не позволяет использовать такие фары на транспортных средствах без бортового компьютера.

3. Для концентрации светового потока источника вместо массивных рефлекторов параболической формы из металла использовать детали вторичной оптики по типу концентрирующих неизображающих охватывающих линз или ре-

флекторов из прозрачных диэлектриков, работающих по принципу полного внутреннего отражения. Это позволит избежать потерь светового потока, как на пропускание, так и на отражение (диэлектрики окисляются значительно меньше металлов), а также облегчить конструкцию за счет меньшей плотности диэлектриков по сравнению с металлом. Нагрев светодиода также уменьшится, так как весь световой поток будет расходоваться эффективно. Кроме того, за счет расположения такой линзы близко к светодиоду можно улучшить устойчивость к вибрации в отличие от фар типа BILED.

4. Для тонкой «доводки» светового распределения предлагается использовать тонкостенные рефлекторы из металла, причем толщина стенки рефлектора уменьшается к наружной поверхности фары. Это позволит сформировать резкую светотеневую границу не за счет точно определенного расстояния проекции края шторки, а путем исключения возможности распространения света выше заданного в стандарте направления. Малая масса таких рефлекторов повысит устойчивость фары к вибрации, а развитая поверхность улучшит ее охлаждение без применения активных систем охлаждения.

5. Определить место крепления светодиода на рефлекторе таким образом, чтобы обеспечить положение центра масс всей оптической системы рефлектор-светодиод-линза на оптической оси фары. Это позволит упростить юстировку фары и улучшить устойчивость к вибрации, а также потенциально упростит замену фары в сборе и использование фары на транспортных средствах разных размеров.

УДК 535:628.373.8,535:548

### ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОНИЧЕСКОГО СВЕТОВОГО ПУЧКА

Рыжевич А.А.<sup>1,2</sup>, Балыкин И.В.<sup>1,2</sup>, Хило Н.А.<sup>1</sup>, Машенко А.Г.<sup>1</sup>, Железнякова Т.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физики НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет

Минск, Республика Беларусь

**Введение.** В [1] было показано, что небесцелые конические световые пучки могут эффективно преобразовываться в азимутально и радиально поляризованные световые пучки [2] и световые поля с винтовыми дислокациями волнового фронта (ВДВФ) [3], имеющие широкие перспективы для применения в оптической диагностике [4] и лазерной обработке материалов [2]. Настоящая работа посвящена исследованию свойств конических световых пучков, которые будет полезно знать при создании источников мощного лазерного излучения с этими особенностями.

**Формирование конического светового пучка.** Для формирования конического светового пучка использовалась оптическая схема на основе конической линзы (аксикона) (рисунок 1). Распределение интенсивности в коническом световом пучке исследовалось экспериментально и теоретически. Аксикон имеет угол  $\delta$  при основании и формирует конический световой пучок с половинным углом конусности  $\alpha$ . До расстояния  $z_w$  (длина зоны существования бесселева светового пучка (БСП)) конический световой пучок считается бесселевым, после прохождения этой