

Фотоэлектроника: элементная база и технология

УДК 621.383

Технология обработки поверхности диафрагмы для фотоприемников в диапазоне 3—12 мкм

К. О. Болтарь, Л. В. Киселёва, А. А. Лопухин, В. И. Лукша,
А. В. Савостин, В. В. Поварихина

Изготовление матричного фотоприемника (МФП) с высокими параметрами требует выполнения комплектующих деталей внутри прибора с минимальными коэффициентами отражения. По стандартной технологии для этого используется нанесение различных антиотражающих покрытий на детали (ZnS, ZnSe, чернение). Проведена обработка поверхности тонкостенных деталей из ковара в целях получения определенной шероховатости для снижения зеркального отражения в рабочем диапазоне длин волн МФП. Разработаны бинарные растворы на основе азотной кислоты.

PACS: 07.57.Kp

Ключевые слова: диафрагма, фотоприемник, диапазон, технология, отражение.

Введение

Для повышения качества приема сигнала ИК-излучения, связанного с увеличением полезного сигнала оптического излучения объекта за счет отсека паразитного излучения, используется охлаждаемая диафрагма, одним из основных параметров которой является коэффициент ослабления K_0 , под которым понимают отношение освещенности от боковой помехи на входном окне диафрагмы к освещенности рассеянного излучения на ее выходном окне. Значение K_0 зависит от угла засветки φ , поэтому его значение, при котором K_0 достигает заданного значения, называется углом допустимой засветки [1].

Предотвратить попадание паразитного излучения на входное окно можно за счет как геометрии диафрагмы, так и придания внутренней поверхности диафрагмы определенных свойств, а также за счет того и другого факторов одновременно.

Болтарь Константин Олегович, начальник НТЦ.
Киселёва Лариса Васильевна, старший научный сотрудник.
Лопухин Алексей Алексеевич, ведущий научный сотрудник.
Лукша Владимир Иванович, ведущий инженер-технолог.
Савостин Александр Викторович, инженер-технолог 1-й категории.

Поварихина Вера Васильевна, ведущий инженер.
ФГУП «НПО «Орион»».
Россия, 111402, Москва, ул. Косинская, 9.
Тел. (495) 374-94-00.
E-mail: orion@orion-ir.ru

Статья поступила в редакцию 11 декабря 2008 г.

© Болтарь К. О., Киселёва Л. В., Лопухин А. А., Лукша В. И.,
Савостин А. В., Поварихина В. В., 2010

В работе использовалось несколько вариантов (типов) конструкции диафрагм. Общими конструктивными свойствами (характеристиками) диафрагм являлось их выполнение из ковара марки 29НК-ВИ с толщиной стенок $\sim 0,2$ мм (предельные возможности токарной обработки). В большинстве случаев они состояли из нескольких частей, внешняя поверхность — зеркальная полировка, во всех вариантах предусмотрены ребра жесткости.

Цель разработки — снижение вклада паразитного влияния переотраженного излучения от стенок диафрагмы.

Широко используемый метод нанесения "черного" хрома на поверхность ковара дает эффективное снижение коэффициента отражения в области длин волн 1—2 мкм. При более длинных волнах коэффициент отражения невозможно понизить более чем на 1—2 % из-за низкой шероховатости слоя.

Более эффективное понижение коэффициента отражения в области 3—12 мкм можно получить путем создания поверхности с заданной (определенной) шероховатостью. Расчет шероховатости проводился с учетом длины волны излучения, апертуры диафрагмы, конструктивных особенностей [2] исходя из условия:

$$h \cdot \cos(\alpha) \geq \lambda, \quad (1)$$

из которого находим

$$h \geq \lambda / \cos(\alpha),$$

где h — высота шероховатости;

α — угол между нормалью к поверхности диафрагмы и направлением падения луча (угол падения);

λ — рабочая длина волны излучения.

Высоту шероховатости можно выразить и через угол допустимой засветки φ :

$$h \geq \lambda / \sin(\varphi).$$

Соотношение (1) показывает, что проекция величины шероховатости (рельефа) на направление падения луча должна быть не менее длины волны излучения (рис. 1).

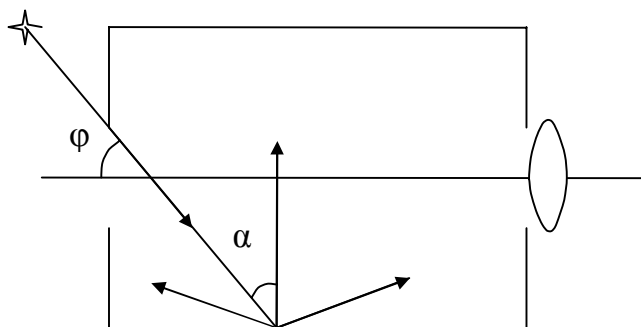


Рис. 1. Распространение паразитного излучения внутри матированной диафрагмы

В работе был выбран способ химического травления. Малая толщина деталей предъявила к травителю следующие требования:

материал должен растворяться в растворе с небольшой скоростью;

эффективно создавать необходимую шероховатость при минимальном удалении поверхностного слоя.

Исследование множества растворов неорганических кислот показало неуправляемое растворение материала. Часто из-за обильного выделения тепла происходило самоускорение процесса, что приводило к глубокому сквозному (питтинговому) травлению стенок диафрагмы.

Особый интерес при исследовании различных наборов кислот вызвала бинарная смесь азотной кислоты и воды. Следует отметить, что составы с различным соотношением HNO_3 и H_2O представляют собой устойчивые химические соединения [3]. В разбавленных растворах концентрированной азотной кислоты HNO_3 ковар активно растворяется, наблюдается активность поверхности, а в концентрированных растворах HNO_3 ковар пассивируется и наблюдается пассивность поверхности. Дж. Бруно писал: "...мы должны исследовать противоположные и противоборствующие, самые крайние концы вещей, должны исследовать наибольшее и наименьшее" [4]. Очевидно, что если мы будем двигаться из области разбавленных в область концентрированных растворов, то найдем такую точку, которая будет соответствовать тако-

му составу раствора, в котором будет наблюдаться явное противоборство двух крайностей — пассивации и активации. Применяя соответствующий понятийный аппарат, можно сказать, что существует точка экстремума, в которой процесс травления идет с максимальной конфликтностью, которая в то же время обладает минимальной устойчивостью. Такая точка экстремума была найдена, а сам процесс представлен на рис. 2.

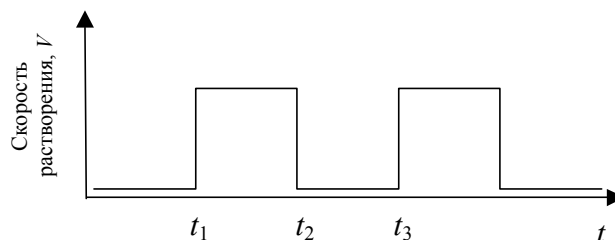


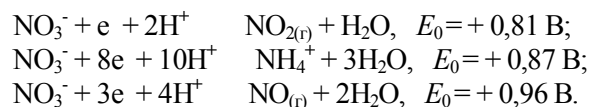
Рис. 2. Модельная зависимость скорости растворения (V) от времени (t) для колебательной гетерогенной окислительно-восстановительной реакции:

(t_1 — t_2) — интервал активного растворения, равный 1—3 с;
(t_2 — t_3) — интервал пассивного растворения, равный 15—60 с

Из диаграммы (типа меандр) видно, что в данном случае имеет место саморегулирующийся процесс, в котором возникает обратная отрицательная связь: чем больше скорость растворения, тем быстрее происходит образование на поверхности пассивирующей пленки и тем быстрее тормозится процесс.

При пассивном течении реакции (t_2 — t_3) происходит растворение пассивирующей пленки. В момент времени t_3 (при полном растворении пленки) снова происходит активное растворение ковара и т. д.

Пассивация — сложное явление, зависящее от многих факторов: химического состава металла, химического состава и температуры раствора, условий его перемешивания, плотности тока, а также характера и скорости их изменения. Пассивность связана с заметным смещением электродного потенциала в положительную сторону. При этом не имеет никакого значения, каким способом достигнут этот положительный потенциал — путем анодной поляризации или в результате воздействия присутствующей в растворе окислительно-восстановительной системы. Таковыми в растворах HNO_3 могут быть [5]:



При анодной поляризации (в нашем случае она достигается изменением окислительно-восстановительной системы при переходе от разбавленных к более концентрированным водным растворам HNO_3) образующиеся адсорбционные или окис-

ные пленки сначала частично тормозят процесс анодного растворения, а при дальнейшем росте потенциала электрода скорость нарастания тока резко снижается. Полная пассивация наступает при так называемом потенциале Фладе E_n [6]. Электродный потенциал ковара измерялся относительно насыщенного хлорсеребряного электрода сравнения, электродный потенциал которого в водородной шкале $E_{Х.С.Э(н.в.э)}$ составляет +0,22 В при температуре 25 °С [7]. Затем потенциал ковара пересчитывался в водородную шкалу $E_{КОВ(н.в.э)}$.

Измерительная блок-схема представлена на рис. 3.

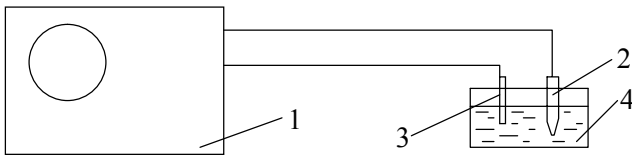


Рис. 3. Блок-схема измерения электродного потенциала:
1 — цифровой осциллограф; 2 — хлорсеребряный электрод сравнения; 3 — рабочий электрод (ковар);
4 — водный раствор HNO_3

Осциллограмма электродного потенциала представлена на рис. 4. Точке А соответствуют наиболее отрицательный потенциал и наибольшая скорость травления. При потенциале, равном -300 мВ, как видно из осциллограммы, начинается пассивация, а это означает, что он находится, по крайней мере, в окрестности Фладе-потенциала.

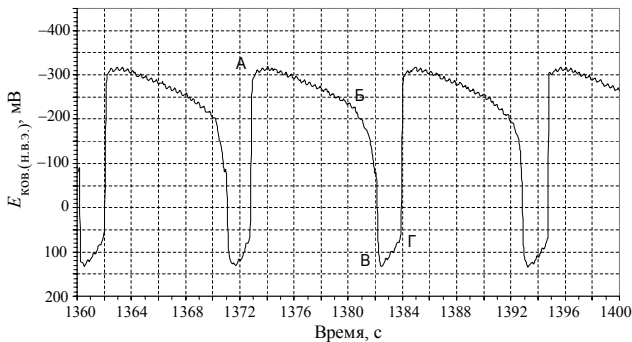


Рис. 4. Зависимость электродного потенциала ковара в водородной шкале (относительно нормального водородного электрода — н.в.э) от времени процесса матирования, начинающегося относительно исходной зеркальной поверхности ковара, в интервале 1360—1400 с

На участке АВ происходит образование пассивирующей пленки, что сопровождается постепенным сдвигом потенциала в положительную сторону (облагораживанием) на 120 мВ. Когда пленка сформирована, происходит скачкообразное облагораживание потенциала на 330 мВ (участок БВ). На участке ВГ наблюдается постепенное растворение пассивирующей пленки, что сопровождается медленным смещением потенциала в отрицательную сторону на 60 мВ. После растворения пассивирующей пленки происходит скачкообраз-

ный сдвиг потенциала в отрицательную область, и цикл замыкается в точке наибольшей скорости травления.

Экспериментально подтверждено, что шероховатость поверхности пропорциональна продолжительности травления. Коэффициент отражения уменьшается с увеличением степени шероховатости. Выявленные зависимости спектров отражения передают состояние поверхности диафрагмы на рис. 5.

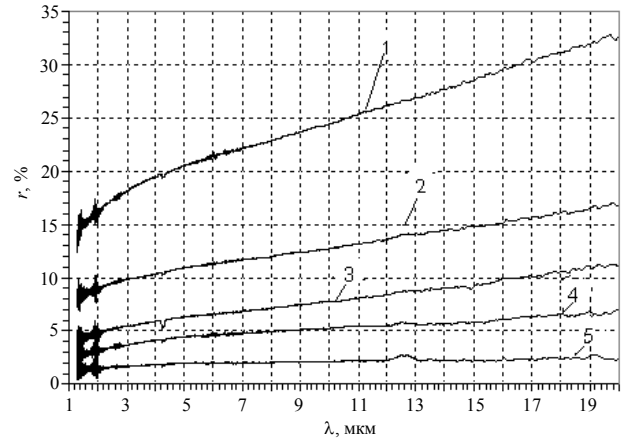


Рис. 5. Спектры отражения при нормальном падении излучения ($\alpha = 0$) травленных поверхностей с различной степенью шероховатости:

цифры — спектры, отличающиеся продолжительностью травления зеркально полированной поверхности диска из ковара и соответствующей толщиной стравленного слоя: 1 — 5 мин (10 мкм); 2 — 10 мин (13 мкм); 3 — 20 мин (22 мкм); 4 — 40 мин (53 мкм); 5 — 60 мин (90 мкм)

Заключение

Травление в окрестности потенциала Фладе E_n позволяет получить достаточно развитую поверхность и соответствует ранее сформулированным требованиям, которые определяются тонкостенностью диафрагмы. Результатом этой разработки является получение минимального коэффициента зеркального отражения (3—5 %) в диапазоне длин волн 3—12 мкм при стравливании слоя не более 70 мкм.

Литература

1. Якушников Ю. Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: Учебник для вузов. — М.: Сов. радио, 1980. С. 126.
2. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике. Изд. 3-е, исп. — М.: Наука, 1965. С. 540.
3. Барон Н. М., Квят Э. И., Подгорная Е. А., Пономарева А. М., Равдель А. А., Тимофеева З. Н.: Краткий справочник физико-химических величин. — Л.: Наука, 1955. С. 43.
4. Асеев В. А. Экстремальные принципы в естествознании и их философское содержание. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1977. С. 13, 14.
5. Перельман В. И./Под общей ред. чл.-кор. АН СССР Б. Н. Некрасова: Краткий справочник химика. Изд. 3-е. — М., 1954. С. 387.
6. Мороз И. И. и др. Электрохимическая обработка металлов. — М.: Машиностроение, 1969. С. 23—30.
7. Ротинян А. Л., Тихонов К. И., Шошина И. А. Теоретическая электрохимия. — Л.: Химия, 1981. С. 161—163.

Formation of a cold shield inside for a FPA in the range 3—12 μm

K. O. Boltar, L. V. Kiseleva, A. V. Savostin, A. A. Lopukhin, V. I. Luksha, V. V. Povarikhina

Orion Research-and-Production Association, 9 Kosinskava str., Moscow, 111402, Russia

E-mail: orion@orion-ir.ru

Manufacture of focal plane array (FPA) with high performance requires fulfilment of accessories inside a device with minimum reflection coefficients. On a conventional process for this purpose deposition different antireflection coatings (ZnS, ZnSe, darkening) is used. In the given activity thin surfacing of parts from covar was conducted with the purpose of obtaining a fixed roughness for decrease of a mirror reflection in an effective FPA spectral range. With this purpose binary solutions have been designed on the basis of nitric acid. As a result of this design will achieve the minimum reflectivity factor (3÷5 %) over the range lengths of waves 3÷12 μm at etching away of layer thickness no more 70 μm .

PACS: 07.57.Kp

Keywords: diaphragm, photodetector, range, technology, reflection.

Bibliography — 7 references.

Received 18 December 2008