

В. К. БУТЕНКО, И. В. ДОКТОРОВИЧ, д. т. н. В. Н. ГОДОВАНЮК,
к. т. н. В. В. РЮХТИН, В. Г. ЮРЬЕВ

Украина, г. Черновцы, ЦКБ "Ритм"
E-mail: rhythmrs@chv.ukrpack.net

Дата поступления в редакцию
10.11 2006 г.

Оппонент к. т. н. Ю. Г. ДОБРОВОЛЬСКИЙ
(НПФ "Тензор", г. Черновцы)

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ФОТОДИОДА

Рассмотрены проблемы, возникающие при определении эффективной площади фоточувствительного элемента фотодиодов по стандартизированной методике. Приведена методика с улучшенными метрологическими возможностями.

При определении пороговой чувствительности ($\Phi_{\text{п}}^*$) или обнаружительной способности (D^*) фотоприемника (ФП) учитывается эффективная фоточувствительная площадь ($A_{\text{эф}}$) [1, с. 54; 2], которая отличается от геометрической [3, с. 71]. Согласно стандарту [2], площадь определяется фотоэлектрическим методом путем сканирования световым зондом по поверхности фоточувствительного элемента (ФЧЭ) с заданными в технических условиях на фотоприемник размерами. Размеры ФЧЭ определяются как разность координат положения светового зонда, при которых происходит падение фотосигнала до уровня $0,5U_{\text{макс}}$ для ФП с прямоугольной формой ФЧЭ и до уровня $0,44U_{\text{макс}}$ — для круглых площадок; $U_{\text{макс}}$ — максимальное значение фотосигнала при прохождении зондом по ФЧЭ.

При погрешности определения $A_{\text{эф}}$, которая не выходит за пределы $\pm 8\%$ [2], такая методика в первом приближении удовлетворяет требованиям на проведение измерений параметров серийных фотоприемников широкого применения, в расчет которых вводится величина эффективной площади. Однако возможности такой методики недостаточны при определении эффективной площади ФП, предназначенных для метрологических целей, для контроля допустимых норм вредных факторов электромагнитного излучения оптического диапазона, для диагностики качества изделий и других случаев с высокими требованиями к метрологическим характеристикам ФП.

Рассмотрим проблемы, которые возникают при определении эффективной площади ФП путем сканирования ФЧЭ световым зондом.

Во-первых, на поверхности фоточувствительного элемента фотоприемника есть контактные площадки. На рис. 1 изображен ФП, на поверхность ФЧЭ которого нанесена непрозрачная контактная площадка 2.

При диаметре ФЧЭ 2 мм и типовых размерах контактной площадки $0,2 \times 0,2$ мм расчеты и сравнение площадей показывают, что контактная площадка за-

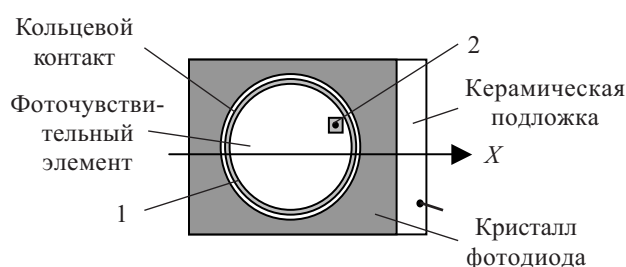


Рис. 1. Вид фотоприемника со стороны фоточувствительного элемента (X — направление сканирования ФЧЭ вдоль оси симметрии):

1 — контактная площадка охранного кольца; 2 — контактная площадка ФЧЭ

нимает 1,3% площади фоточувствительного элемента. Не учитывая этой площади, мы прибавляем к общей относительной погрешности измерений, например чувствительности, погрешность, которая составляет 1,3%. Понятно, что эта погрешность существенно изменится при увеличении диаметра ФЧЭ. Так, для ФП с диаметром ФЧЭ 4 мм погрешность составит приблизительно 0,3%.

При определении эффективной площади ФП может быть допущена существенная случайная погрешность. Поскольку осью симметрии круглого фоточувствительного элемента является его диаметр, то случайно выбрав ось сканирования вдоль диаметра, на котором размещена контактная площадка, можно внести погрешность при определении диаметра, а соответственно, и площади ФЧЭ. В этом случае дополнительная погрешность составит 19,1%. Конечно, такая погрешность относится к разряду промахов, что, тем не менее, свидетельствует о недостатке метода исследования [4, с. 11; 5, с. 7]. После анализа результатов и повторных измерений промах может быть выявлен, а погрешность уменьшится до уровня систематической погрешности, однако не исключено, что промах будет принят за истинный результат измерений.

Во-вторых, для улучшения пороговых свойств и энергетической характеристики чувствительности ФП в конструкцию некоторых фотоприемников вводится контакт в виде кольца. При измерениях параметров ФП в качестве размеров ФЧЭ берут размеры, ограниченные внутренней частью кольцевого контакта. Однако между кольцевым контактом и геометрическим краем ФЧЭ есть зазор в $0,05$ — $0,1$ мм.

На рис. 2 приведена координатная зависимость фотосигнала $I_c = f(X)$. Как видим, на выходе ФП есть фотосигнал с той части ФЧЭ, которая находится за пределами контактной площадки.

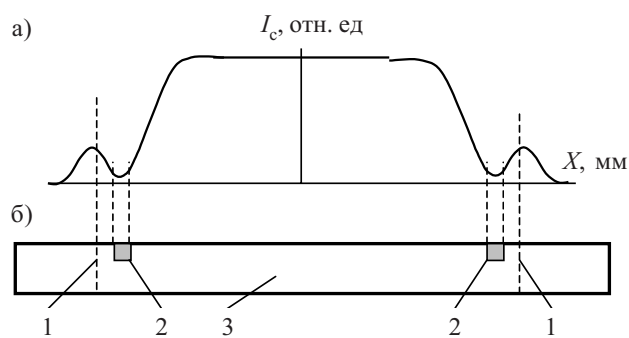


Рис. 2.

a — изменение фотосигнала (I_c) при сканировании ФЧЭ вдоль оси X ; b — кристалл ФП в разрезе:
1 — геометрические пределы ФЧЭ; 2 — контактная площадка ФЧЭ в виде кольца; 3 — кристалл ФП

Конечно, амплитуда фотосигнала, а соответственно, и дополнительная погрешность при определении эффективной площади ФП, зависят от размеров ФЧЭ и светового зонда. Так, при сканировании зондом 0,1 мм фоточувствительных элементов диаметром 2—10 мм дополнительная погрешность составит 2—5%. Таким образом, дополнительную погрешность необходимо определять для конкретного типа фотоприемника и учитывать при расчете основной погрешности измерений $A_{эф}$.

В-третьих, фотоприемники, в первую очередь фотодиоды, за геометрическими пределами фоточувствительного элемента чувствительны к падающему потоку излучения. Это явление всегда имеет место, если не затемнять кристалл за пределами p – n -перехода. Действительно, длина (L) диффузии неосновных носителей заряда (н. н. з.) в зависимости от материала кристалла может быть от 0,015 до 1,0 мм. Поэтому н. н. з., которые генерируются падающим излучением, доходят до p – n -перехода и дают свой вклад в фототок. Понятно, что чем больше значение L , тем больше вклад периферийной чувствительности.

Кроме этого, при создании p – n -перехода вносится примесь, и это уменьшает чувствительность за счет рекомбинации на примесных центрах. На рис. 2 показана координатная зависимость фотосигнала кремниевых фотодиодов типа ФД255. Хотя уровень фотосигнала за пределами ФЧЭ значительно ниже, чем сигнал в пределах его геометрических размеров, однако при засветке всей поверхности фотоприемника получим 2—4% дополнительного сигнала, что приводит к завышению результатов измерения параметра.

Следует отметить, что периферийная чувствительность может незначительно отличаться от чувствительности в пределах чувствительного элемента. Так, в германиевом фотодиоде ФД-287 с концентрацией примеси в области p – n -перехода $\approx 1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ и $L=0,1$ мм периферийная чувствительность приблизительно равна чувствительности в пределах ФЧЭ, и дополнительный сигнал приводит к еще большему увеличению результатов измерений. Для прецизионных измере-

ний световых величин такая дополнительная погрешность является недопустимо большой.

Иногда от периферийной чувствительности избавляются путем металлизации площади за пределами ФЧЭ. Однако такой технологический прием также не решает проблемы улучшения точности определения $A_{эф}$, т. к. возникает другая проблема — появляется многократное переотражение излучения между металлическим покрытием и входным окном. Чернение такого покрытия или использование черненной диафрагмы значительно повышает стоимость изделия.

Наконец, четвертое. Эффективная фоточувствительная площадь ФП это, по определению, площадь ФЧЭ, эквивалентного по фотосигналу ФП, чувствительность которого *равномерно* распределена по ФЧЭ и равна номинальному значению локальной чувствительности данного ФП [6]. Однако ФП имеют некоторую (иногда высокую) неравномерность чувствительности по поверхности ФЧЭ, которая является следствием локальных дефектов кристалла и поверхности ФП. Понятно, что определение эффективной площади ФП усложняется. В этом случае проводится сканирование световым зондом по всей поверхности ФЧЭ и определяется величина эффективной фоточувствительной площади ($A_{эф}$) по формуле [6]

$$A_{эф} = \frac{1}{S_N(x_0, y_0)} \iint_A S(x, y) dx dy,$$

где S_N — номинальное значение локальной чувствительности — как правило, выбирается максимальная чувствительность точки в центре ФЧЭ (точка x_0, y_0);
 $S(x, y)$ — чувствительность ФП при облучении ФЧЭ точечным зондом с координатами x, y .

Отметим, что такая методика является малопродуктивной и сложной при обработке результатов.

Таким образом, с учетом рассмотренных дополнительных погрешностей, исключая промахи, к погрешности определения $A_{эф}$, которая составляет $\pm 8\%$, добавится погрешность в 6—8%.

В отличие от вышеописанной стандартизированной методики измерения эффективной площади с ее недостатками, предлагается методика, которая основана на методе сравнения площадей. Структурная схема установки для такого измерения $A_{эф}$ приведена на рис. 3.

Для применения данной методики в плоскости фотоувствительного элемента ФП формируется равномерное световое поле с размерами, в 2—3 раза большими, чем больший из размеров ФЧЭ. Равномерность потока излучения достигается изменением расстояния между ФП и источником излучения. Так, при

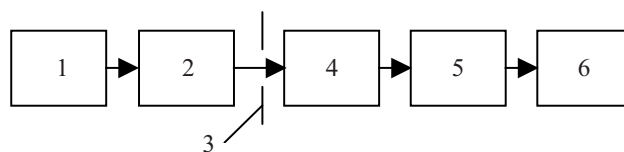


Рис. 3. Структурная схема установки для измерения эффективной площади ФП:

1 — блок питания источника оптического излучения; 2 — источник оптического излучения; 3 — диафрагма; 4 — фотоприемник; 5 — преобразователь "ток—напряжение"; 6 — вольтметр типа В7-28

использовании в качестве источника излучения лампы накаливания типа РН12-100 на расстоянии, большем 1 м, неравномерность освещенности участка диаметром 45 мм не превышает $\pm 1\%$.

Так как выходной фотосигнал фотоприемника пропорционален площади фоточувствительного элемента, то, установив перед входным окном ФП диафрагму толщиной 0,3—0,5 мм и размерами, в 1,3—1,4 раза меньшими геометрических размеров ФЧЭ, получим усредненное значение фотосигнала I_d . В этом случае учитывается влияние неравномерности чувствительности по поверхности ФЧЭ.

На рис. 4 схематически показано положение диафрагмы 1 при засветке ФП 2 потоком излучения Φ .

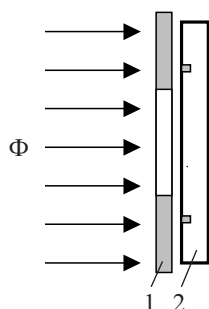


Рис. 4. Засветка ФП потоком излучения Φ при измерении эффективной площади методом сравнения: 1 — диафрагма; 2 — кристалл ФП

Если эффективная фоточувствительная площадь ФП — это площадь ФЧЭ, эквивалентного по фотосигналу ФП, чувствительность которого *равномерно* распределена по ФЧЭ, то сняв диафрагму, мы получим фотосигнал $I_{фп}$ именно такого, эквивалентного по фотосигналу, фотоприемника. Другими словами, при измерении таким способом фотосигнала $I_{фп}$ учитывается влияние контактной площадки и чувствительности за геометрическими пределами ФЧЭ на результат определения $A_{эф}$.

Величина эффективной фоточувствительной площади $A_{эф}$ определяется здесь соотношением

$$A_{эф} = A_d \frac{I_{фп}}{I_d},$$

где A_d — площадь диафрагмы.

С учетом того, что площадь диафрагмы может быть определена с погрешностью не более $\pm 0,5\%$, фотосигналы — с погрешностью не более $\pm 1\%$, общая погрешность измерений эффективной площади не выйдет за пределы $\pm 1,5\%$.

Необходимо отметить, что настоящая методика имеет также и ограничения — сложно определить A_d фотоприемников с размерами ФЧЭ, меньшими 1 мм, т. к. сложно качественно изготовить диафрагму, точно определить ее площадь и выставить над фоточувствительным элементом фотоприемника.

Выводы

С учетом анализа причин увеличения общей погрешности измерений эффективной площади фоточувствительного элемента фотодиода по стандартизованной методике разработана методика, основанная на сравнении площадей ФЧЭ и специальной диафрагмы.

Предложенная методика позволяет проводить измерения эффективной площади фоточувствительного элемента фотодиодов с меньшей общей погрешностью измерений.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Васильченко Н. В., Борисов В. А., Кременчугский Л. С., Левин Г. Э. Измерение параметров приемников оптического излучения. — М.: Радио и связь, 1983.
2. ГОСТ 17772–88. Приемники излучения полупроводниковые фотоэлектрические и фотоприемные устройства. Методы измерения фотоэлектрических параметров и определения характеристик.
3. Йесперс П., Ван де Виле Ф., Уайт М. Полупроводниковые формирователи сигналов изображения. — М.: Мир, 1979.
4. Зайдель А. Н. Ошибки измерений физических величин. — Л.: Наука, 1974.
5. Чепуренко В. Г., Нижник В. Г., Соколова Н. И. Вычисления погрешностей измерений. — К.: Вища школа, 1978.
6. ГОСТ 21934–83. Приемники излучения полупроводниковые фотоэлектрические и фотоприемные устройства. Термины и определения.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ



Заводян А. В., Грушевский А. М. Поверхностный монтаж для производства высокоплотных электронных средств: Уч. пособие. — М.: МИЭТ, 2006. — 276 с.

Рассмотрены основные аспекты перспективного направления в разработке и производстве электронных средств — техники поверхностного монтажа компонентов на коммутационных платах, реализуемой в условиях компьютерно-интегрированных технологических процессов. Внимание акцентировано на новых технологических разработках, в том числе отдельных научно-исследовательских разработках кафедры микроэлектроники МИЭТ, имеющих практическую направленность, а также на вопросах обеспечения качества и эксплуатационной надежности электронных устройств.

Рекомендуется студентам, обучающимся по специальностям «Проектирование и технология электронных средств»; «Проектирование и технология электронно-вычислительных средств»; «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети»; «Радиоэлектронные системы»; «Электроника и микроэлектроника»; «Микроэлектроника и твердотельная электроника» и смежным с ними, а также специалистам, занимающимся созданием перспективных электронных устройств с высокоплотным монтажом.