

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 535.4.08 : 681.3.06

П. И. ГОСЬКОВ, В. И. ГРОЗОВ, С. П. ПРОНИЦ, А. Г. ЯКУШИН
(Барнаул)

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ
ДИФРАКЦИОННОЙ КАРТИНЫ ПЗС-ФОТОПРИЕМНИКОМ

Широкое применение ПЗС-фотоприемников (ПЗС ФП) в качестве бесконтактных измерителей размеров определяется рядом преимуществ этих преобразователей: низкое питающее напряжение, безынерционность, габариты, вес и т. д. [1]. В частности, использование ПЗС ФП перспективно в дифракционных системах для измерения параметров микрообъектов по их картине Фраунгофера [2]. Несмотря на преимущества нового типа фотоприемника, применение его в таких системах может приводить к неоправданно большим погрешностям. Так, в экспериментах по измерению микроцели размером 50—80 мкм на расстоянии 550 мм от ПЗС ФП погрешность измерения составила 8 мкм. Типичное дифракционное распределение интенсивности, регистрируемое линейным ПЗС ФП, представлено на рис. 1. Из осциллограммы видно, что оно промодулировано по амплитуде, причем структура модуляции, как показывает анализ, не связана с хаотической неравномерностью чувствительности элементов фотоприемника.

Цель настоящей работы — выяснить причину модуляции и разработать алгоритм коррекции оптического сигнала на основе метода инверсии искажений [3].

Поскольку в измерении используется когерентный источник света, то естественно предположить, что после прохождения защитного стекла ПЗС ФП возникают многолучевые интерференционные полосы, которые и определяют характер модуляции дифракционной картины. Эта гипотеза была проверена следующим образом. Защитное стекло ПЗС ФП освещалось расходящимся лазерным пучком, и в отраженном свете фиксировалась интерференционная картина (рис. 2). Поскольку интерференционные картины в отраженном и прошедшем свете дополняют друг друга [4], то модуляция электрического сигнала при освещении ПЗС ФП равномерным световым потоком должна соответствовать чередованию светлых и темных полос в полученной интерферограмме. Квазиравномерное световое поле формировалось с помощью узкой щели (5—7 мкм), ширина главного дифракционного максимума от которой много больше размеров светочувствительной зоны ПЗС ФП. Качественный анализ интерферограммы (см. рис. 2) и осциллограммы выходного сигнала ПЗС ФП (рис. 3) подтверждает изложенную гипотезу.

Для исследований дифракции использовалась традиционная оптическая система, которая включала He-Ne-лазер ЛГ-126, поляриод для изменения интенсивности светового потока, коллиматор и раздвижную щель УФ-2. Электронная система состояла из телевизионной камеры на основе линейного ПЗС ФП K1200 ЦЛ-1, блока обработки видеосигнала и микроЭВМ «Электроника 60 М».

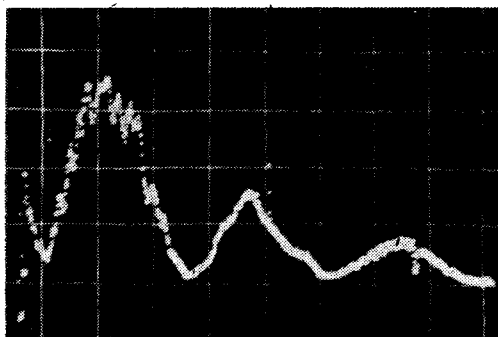


Рис. 1



Рис. 2

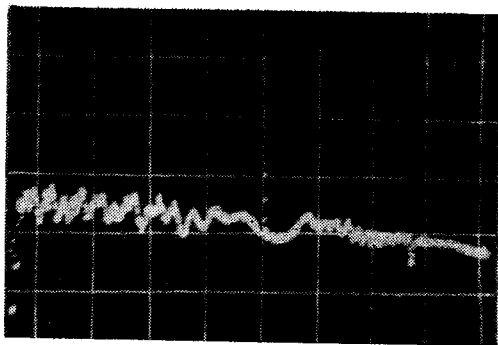


Рис. 3

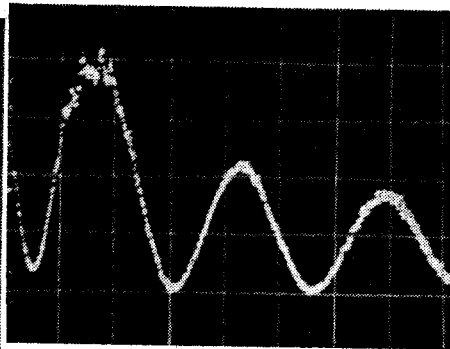


Рис. 4

Анализ распределения интенсивности в дифракционной картине свидетельствует, что в области глобальных дифракционных минимумов может находиться по нескольку локальных минимумов, обусловленных интерференцией. Таким образом, уширение минимумов дифракции (7—8 элементов для первого минимума и 36—40 элементов для второго) приводит к большой погрешности в определении расстояния между ними, что существенно отражается на погрешности косвенного измерения микрощели.

Методика коррекции оптического сигнала заключалась в поэлементном домножении массива первичного дифракционного сигнала ПЗС ФП (см. рис. 1) на массив нормированных коэффициентов, обратно пропорциональных интерференционному сигналу (см. рис. 3), с последующим сглаживанием с помощью низкочастотного фильтра. Поскольку в ПЗС ФП возможны значительные выбросы темнового тока (на рис. 1 они соответствуют отдельно светящимся точкам), процедуре коррекции интерференционных искажений должна предшествовать процедура компенсации темнового тока. Компенсацию можно осуществить путем поэлементного вычитания из массивов интерференционного сигнала B_i и дифракции F_i массива темнового тока A_i , где i — номер элемента соответствующего массива. Массив темнового тока заносится в память ЭВМ при полностью закрытой светочувствительной зоне фотоприемника от внешних источников света. Коэффициенты пропорциональности K_i нормируются относительно максимального значения интерференционного сигнала

$$K_i = (B_i - A_i) / (B_i - A_i)_{\max}. \quad (1)$$

Тогда коррекция дифракционного распределения по интерференционной модуляции запишется в виде

$$U_i = (F_i - A_i) / K_i. \quad (2)$$

Обработка оптического сигнала по алгоритму (2) представлена на рис. 4. Зоны минимумов после обработки становятся значительно уже. Для первого дифракционного минимума она уменьшается до 3—4 элементов, а для второго — до 4—6 элементов. Основную роль в определении ширины зон в этом случае играет неравномерность элементов фотоприемника по чувствительности. Выделить в зоне единственный элемент с минимальным значением функции позволяет низкочастотная фильтрация, которую можно представить в виде

$$S_j = \frac{1}{N} \sum_{i=j}^{N+j-1} U_i, \quad (3)$$

где N — количество элементов, по которым суммируются значения функции, $j = 1, 2, \dots, \{1024/N + N - 1\}$. Иными словами, алгоритм по формуле (3) представляет собой «сканирование» окна фильтра, состоящего из N элементов, с дискретным шагом, равным одному элементу, с последующим усреднением суммы значений функции. С увеличением окна фильтра уменьшается зона неопределенности дифракционного минимума. Однако значительное увеличение N приводит к систематической погрешности, т. е. к смещению минимумов относительно их теоретического положения. Для того чтобы эта погрешность была пренебрежимо малой величиной, необходимо выполнение условия [5]

$$N\pi/l \ll \text{ctg}(N\pi/l), \quad (4)$$

где l — расстояние между минимумами, выраженное количеством элементов, $\pi = 3,14$. В противном случае положение минимума x , нормированного к величине π , определяется из итерационного уравнения [5]

$$x_{i+1} = \text{arctg} \left\{ \frac{N\pi}{2lx_i} \text{tg} \left(\frac{N\pi}{2l} \right) \right\} + k\pi, \quad (5)$$



Рис. 5

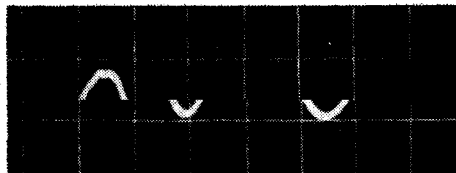


Рис. 6

где i — номер итерации; $k = 1, 2, \dots$ — номер минимума. На рис. 5, 6 приведены осциллограммы отфильтрованного дифракционного распределения интенсивности при $N = 10$ и $N = 50$ элементов соответственно.

В эксперименте с вышеуказанными параметрами при окне фильтра $N = 20$ элементов получена погрешность измерения 1 мкм. В основном эта погрешность определялась ценой деления раздвижной щели УФ-2. Увеличение N свыше 50 элементов нецелесообразно, так как в этом случае значительно увеличивается время обработки сигнала и возникает необходимость применения в программе дополнительного алгоритма на основе формулы (5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Вето А. В., Костюков Е. В., Кузнецов Ю. А., Пресс Ф. П. Фоточувствительные схемы с зарядовой связью: состояние и перспективы развития // Электрон. пром-сть.— 1982.— Вып. 7.
2. Евсеев Н. И., Козачок А. Г., Солодкин Ю. Н. Анализ дифракционных способов измерения линейных размеров // Метрология.— 1984.— № 2.
3. Обработка изображений и цифровая фильтрация/Под ред. Т. Хуанга: Пер. с англ.— М.: Мир, 1979.
4. Борн М., Вольф Э. Основы оптики.— М.: Наука, 1973.
5. Пронин С. П., Якунин А. Г. Регистрация минимумов в дифракционном распределении интенсивности щелевой диафрагмой фотоприемника // Робототехника и автоматизация производственных процессов: Тез. докл. Всесоюз. конф.— Барнаул: АПИ, 1983, ч. 6.

Поступило в редакцию 23 декабря 1985 г.

УДК 681.3.04/05

Е. И. ЧЕРНОВ
(Рязань)

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ СТАБИЛИЗАЦИИ КОЭФФИЦИЕНТА УМНОЖЕНИЯ ЛАВИННОГО ФОТОДИОДА

Современные лавинные фотодиоды (ЛФД) являются высокоэффективными приемниками излучения и по своим характеристикам приближаются к ФЭУ [1, 2]. Имея малые массогабаритные показатели и не требуя высоковольтного питания, они существенно упрощают конструкцию многих оптико-электронных приборов. Однако широкое применение ЛФД в настоящее время сдерживается температурной нестабильностью их характеристик.

В статье приведено описание нового эффективного способа стабилизации рабочей точки и коэффициента умножения ЛФД, резко ослабляющего температурную нестабильность фотоприемника. Способ заключается в следующем. На ЛФД подают напряжение смещения, имеющее постоянную и переменную составляющие. Так как коэффициент лавинного умножения M нелинейно зависит от температуры и напряжения смещения [3], то при изменении температуры меняется форма токового сигнала ЛФД, обусловленного переменной составляющей напряжения смещения. Благодаря этому из соотношения токовых сигналов ЛФД, осредненных за период и