ный механизм эрозии, пленка с поверхности катода исчезает (см. рис. 1, *в*), в связи с чем происходит рост КПП с последующей стабилизацией его на определенном уровне.

При незначительном изменении поверхностного слоя электродов, вследствие воздействия на них разрядов малой длительности (кривая *4*) или небольшого суммарного числа проведенных разрядов (кривая *5*), КПП принимает более низкие значения, что объясняется привязкой катодных пятен дуги на границе раздела молибдена и меди [1], где в основном сосредоточена геттерная добавка. Дополнительные изменения поверхностного слоя, вызванные увеличением длительности разряда, приводят к соответствующему росту КПП (кривые *1—3*).

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что КПП вакуумных дуг зависит от двух типов изменения структуры поверхностного слоя электродов: «статического», связанного с воздействием на электроды некоторого числа дуговых разрядов, и «динамического», обусловленного возникновением на катоде в первой эрозионной области пленки материала анода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кесаев И. Г. Катодные процессы электрической дуги.— М., 1968.
2. Граков В. Е.— ЖТФ, 1967, т. 37, вып. 2, с. 396.
3. Davis W. D., Miller H. G.— J. Appl. Phys., 1969, v. 40, № 5, p. 2212.
4. Mitchell G. R.— Proc. IEE, 1970, v. 117, p. 2315.
5. Некрашевич И. Г., Граков В. Е.— В сб.: Применение спектрального анализа в народном хозяйстве и научных исследованиях. Минск, 1967, с. 10.
6. Смирнов А. В., Кравцевич И. И.— ЖТФ, 1981, т. 51, вып. 21, с. 2292.
7. Некрашевич И. Г., Смирнов А. В., Кравцевич И. И.— Труды XV Международной конференции по явлениям в ионизованных газах. Минск, 1981, с. 519.
8. Кравцевич И. И., Некрашевич И. Г., Смирнов А. В.— Изв. ВУЗов СССР. Электромеханика, 1981, № 10, с. 1108.

Поступила в редакцию
28.08.84.

УДК 535.31

С. В. ПРОЦКО, Б. Ю. ХАНОХ, А. П. ХАПАЛЮК

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УГОЛКОВЫХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ АВТОКОЛЛИМАЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ

Трехгранный отражатель, двугранные углы между отражающими гранями которого имеют небольшие отступления от 90°, часто используется в качестве автоколлимационного датчика для определения углового положения объекта, жестко связанного с отражателем, через три независимых угла его поворота относительно трех осей: оси визирования (оси скручивания) и коллимационных осей [1]. Для повышения эффективности действия углоизмерительных автоколлиматоров применяются отражатели со специально выбранными отступлениями углов от 90° [1, 2]. Отражатель с прямыми двугранными углами является лишь частным случаем целого семейства отражателей в форме трехгранных углов ($\pi/2$, $\pi/2$, π/s, s — четное) при $s=2$ [3], поэтому целесообразно определить условия, которым должны удовлетворять отступления двугранных углов от идеальных между отражающими гранями для остальных членов этого семейства с целью эффективного их использования в качестве автоколлимационных датчиков угловых координат.

Из расчетов [3] вытекает, что в плоскости анализа автоколлиматора координаты изображений пучков, отраженных отражателем в форме трехгранного угла ($\pi/2+\delta_{23}$, $\pi/2+\delta_{13}$, $\pi/s+\delta_{12}$), где δ_{ik} (i, $k=1, 2, 3$) — небольшие отступления двугранных углов от идеальных, следующим образом зависят от углов его поворота относительно оси скручивания (угол Θ_3) и коллимационных осей (углы Θ_1 и Θ_2):

$$\begin{aligned} x_j &= P_j \sin\Theta_1 \cos\Theta_2 + \cos\Theta_1 \cos^{-1}\eta [F_j \sin(\Theta_3-\eta) + K_j \cos(\Theta_3-\eta)], \\ y_j &= P_j \sin\Theta_2 + \cos\Theta_2 [F_j \cos\Theta_3 - K_j \sin\Theta_3],\ j=1,\ 2,\ \ldots,\ 2s+2, \end{aligned} \tag{1}$$

где P_j, F_j, K_j — величины, зависящие от δ_{ik} и параметра s, $\eta = \operatorname{arctg}(\operatorname{tg}\Theta_1 \sin\Theta_2)$. Исследование соотношений (1) показало, что при выполнении условия

$$F_j=0,\ K_j=0, \tag{2}$$

которое определяет функциональную связь между отступлениями двугранных углов отражателя, координаты j-го отраженного пучка (ввиду попарной симметрии отраженных пучков будем рассматривать только пучки с $j=1, 2, \ldots, s+1$) не будут зависеть от угла Θ_3:

$$x_j = P_j \sin\Theta_1 \cos\Theta_2,\ y_j = P_j \sin\Theta_2. \tag{3}$$

Поэтому для каждого j-го пучка любого отражателя из рассматриваемого семейства всегда можно подобрать величины отступлений δ_{12}, δ_{23}, δ_{13} таким образом, чтобы его координаты давали информацию только об углах поворота отражателя относительно коллимационных осей. При Θ_1, $\Theta_2=0$ j-ый отраженный пучок находится в центре поля зрения; при поворотах отражателя на углы Θ_1 или Θ_2 изображение этого пучка в плоскости анализа смещается параллельно координатным осям x или y соответственно. Заметим, что при выполнении условия (2) зависимость координат изображений остальных отраженных пучков от углов Θ_1, Θ_2, Θ_3 не упрощается.

В прямоугольном отражателе ($s=2$) условие (2) сводится к следующему:

$$\delta_{23} = -\delta_{12} = -\delta_{13},\ \delta_{23} = -\delta_{12} = \delta_{13} \text{ и } \delta_{23} = \delta_{12} = -\delta_{13}, \tag{4}$$

для пучков с $j=1$, 2 и 3 соответственно [1]. Для отражателя с $s=4$ условие (2) примет вид:

$$\delta_{13} = -\delta_{23},\ 2\delta_{12} = -(\sqrt{2}-1)\,\delta_{23}\ \ (j=1); \tag{5а}$$

$$\delta_{13} = -(\sqrt{2}+1)\,\delta_{23},\ 2\delta_{12} = \delta_{23}\ \ (j=2); \tag{5б}$$

$$\delta_{13} = \delta_{23},\ -2\delta_{12} = \delta_{23}\ \ (j=3); \tag{5в}$$

$$\delta_{13} = -(\sqrt{2}-1)\,\delta_{23},\ 2\delta_{12} = -(\sqrt{2}-1)\,\delta_{23}\ \ (j=4); \tag{5г}$$

$$\delta_{13} = -\delta_{23},\ 2\delta_{12} = (\sqrt{2}-1)\,\delta_{23}\ \ (j=5). \tag{5д}$$

Величина углового смещения j-го отраженного пучка при поворотах отражателя вокруг коллимационных осей определяется модулем $|P_j|$. В прямоугольном отражателе ($s=2$) при выполнении условий (4) модуль $|P_j|$ во всех случаях одинаков и равен 3,46 δ_{23}. В отражателе с $s=4$ при выполнении условий (5а), (5г) и (5д) $|P_{1,4,5}|=2{,}32\ \delta_{23}$, а при выполнении условий (5б), (5в) $|P_{2,3}|=5{,}59\ \delta_{23}$.

Модули $|P_j|$ характеризуют чувствительность и дальность действия автоколлиматора [1], поэтому по сравнению с прямоугольным использование отражателей с $s=4$ при выполнении условий (5а), (5г) или (5д) повышает дальность действия автоколлиматора, а при выполнении условий (5б) или (5в) увеличивает его чувствительность [4].

Для решения целого ряда метрологических задач необходимо знать углы поворота объекта относительно оси визирования. Исследования показали, что в отражателях рассматриваемого семейства специальным выбором отступлений двугранных углов от идеальных можно уменьшить степень влияния коллимационных углов на точность определения угла скручивания. Для этого должны выполняться следующие условия:

$$P_j=0, \quad F_j=0 \tag{6}$$

$$\text{либо } P_j=0, \quad K_j=0. \tag{7}$$

При $s=2$ для пучков с $j=1$, 2, 3 условие (6) соответствует выполнению следующих отступлений двугранных углов [1]:

$$\delta_{23}=\delta_{13},\ \delta_{12}=0;\ \delta_{23}=-\delta_{13},\ \delta_{12}=0;\ \delta_{23}=\delta_{13},\ \delta_{12}=0; \tag{8}$$

а условие (7)

$$\delta_{23}=-\delta_{13}=0{,}5\ \delta_{12},\ \delta_{23}=\delta_{13}=0{,}5\ \delta_{12},\ \delta_{23}=-\delta_{13}=-0{,}5\ \delta_{13}. \tag{9}$$

Для отражателя с $s=4$ условие (6) примет вид:

$$\delta_{13}=\delta_{23},\ \delta_{12}=0\ (j=1); \tag{10а}$$

$$\delta_{13}=(1-\sqrt{2})\,\delta_{23},\ \delta_{12}=0\ (j=2); \tag{10б}$$

$$\delta_{13}=-\delta_{23},\ \delta_{12}=0\ (j=3); \tag{10в}$$

$$\delta_{13}=-(\sqrt{2}+1)\,\delta_{23},\ \delta_{12}=0\ (j=4); \tag{10г}$$

$$\delta_{13}=\delta_{23},\ \delta_{12}=0\ (j=5); \tag{10д}$$

а условие (7)

$$\delta_{13}=-\delta_{23},\ \delta_{12}=\sqrt{2}\delta_{23}\ (j=1); \tag{11а}$$

$$\delta_{13}=-(\sqrt{2}+1)\,\delta_{23},\ \delta_{12}=-(\sqrt{2}+2)\,\delta_{23}\ (j=2); \tag{11б}$$

$$\delta_{13}=\delta_{23},\ \delta_{12}=(\sqrt{2}+2)\,\delta_{23}\ (j=3); \tag{11в}$$

$$\delta_{13}=(1-\sqrt{2})\,\delta_{23},\ \delta_{12}=\sqrt{2}\ \delta_{23}\ (j=4); \tag{11г}$$

$$\delta_{13}=-\delta_{23},\ \delta_{12}=-\sqrt{2}\ \delta_{23}\ (j=5). \tag{11д}$$

Отметим, что условие (6) для пучков с $j=1$ и $j=s+1$ совпадает, поэтому эти пучки будут распространяться в одном направлении и, следовательно, создавать в плоскости анализа одно изображение источника.

Координаты j-го отраженного пучка при выполнении условия (6) связаны с углами поворота отражателя следующим образом

$$x_j=\cos\Theta_1\cos^{-1}\eta\cos(\Theta_3-\eta)K_j,\ y_j=-\cos\Theta_2\sin\Theta_3K_j, \tag{12}$$

а при выполнении условия (7)

$$x_j=\cos\Theta_1\cos^{-1}\eta\sin(\Theta_3-\eta)F_j,\ y_j=\cos\Theta_2\cos\Theta_3F_j. \tag{13}$$

Координаты изображений остальных отраженных пучков более сложным образом зависят от углов Θ_1, Θ_2 и Θ_3.

Из формул (12) следует, что при повороте отражателя вокруг оси скручивания на угол Θ_3 изображение j-го отраженного пучка смещается в плоскости анализа на угол Θ_3', отсчитываемый от координатной оси x,

$$\operatorname{tg}\Theta_3'=\frac{y_j}{x_j}=-\frac{\cos\Theta_2\sin\Theta_3\cos\eta}{\cos\Theta_1\cos(\Theta_3-\eta)}, \tag{14}$$

а из формул (13) — на угол Θ_3'', отсчитываемый от координатной оси y,

$$\operatorname{tg}\Theta_3''=\frac{x_j}{y_j}=\frac{\cos\Theta_1\sin(\Theta_3-\eta)}{\cos\Theta_2\cos\Theta_3\cos\eta}. \tag{15}$$

При малых углах поворота отражателя, т. е. когда выполняются условия $\sin\Theta_i\simeq\Theta_i$, $\cos\Theta_i\simeq 1$, $\eta\simeq\Theta_1\Theta_2\ll\Theta_3$, формулы (14) и (15) сводятся к следующим:

$$\Theta_3'\simeq|\Theta_3|,\ \Theta_3''\simeq\Theta_3-\eta\simeq\Theta_3. \tag{16}$$

Таким образом, при специальном выборе отступлений двугранных углов от идеальных один из отраженных пучков при повороте отражателя относительно оси скручивания сместится в плоскости анализа независимо от коллимационных углов (в широком интервале их изменения) по круговой траектории на такой же угол.

Линейные величины угловых смещений изображений отраженных пучков в этом случае определяются радиусами окружностей, по которым они перемещаются в плоскости анализа, т. е. для траектории (12) модулем $|K_j|$, а для траектории (13) модулем $|F_j|$. Для отражателя с $s=2$ при выполнении условий (8) все модули $|K_j|$ совпадают и равны $|K_{1,2,3}|=2{,}83\ \delta_{23}$, а при выполнении условий (9) — $|F_{1,2,3}|=2{,}45\ \delta_{23}$. В отражателе с $s=4$ радиусы окружностей при выполнении условий (10а), (10г) и (10д) будут равны $|K_{1,4,5}|=5{,}23\ \delta_{23}$, при выполнении условий (10б), (10в) — $|K_{2,3}|=2{,}16\ \delta_{23}$, при выполнении условий (11а), (11г) и (11д) — $|F_{1,4,5}|=6{,}06\ \delta_{23}$ и при выполнении условий (11б), (11в) — $|F_{2,3}|=14{,}62\ \delta_{23}$. Как видно, расходимость отраженных пучков в отражателе с $s=4$ при выполнении условий (10б) и (10в) будет меньше, чем в отражателе с $s=2$, а при выполнении каждого из остальных условий (10), (11) — больше. Поэтому использование этого отражателя в качестве датчика для определения углов скручивания позволяет повысить эффективность работы автоколлиматора.

Полученные результаты можно использовать в практических целях при оптимальном выборе трехгранного отражателя из рассмотренного семейства с целью эффективного применения его в качестве автоколлимационного датчика угловых координат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ханох Б. Ю. Оптические отражатели тетраэдрического типа в активных системах.— Минск, 1982.
2. Коняхин И. А., Панков Э. Д.— ОМП, 1980, № 3, с. 19.
3. Процко С. В., Ханох Б. Ю., Хапалюк А. П.— Весці АН БССР. Сер. фіз.-мат. навук. 1984, № 1, с. 88.
4. Процко С. В., Ханох Б. Ю., Хапалюк А. П. Трехгранный уголковый отражатель для оптического отражателя А. с. 1045200 (СССР).— БИ, 1983, № 36.

Поступила в редакцию
12.09.84.

УДК 778.38

И. В. СТАШКЕВИЧ, А. В. ЧАЛЕЙ

ДИФРАКЦИОННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПРОФИЛЬ ШТРИХА ТОНКИХ ФАЗОВЫХ ГОЛОГРАММ

Дифракционная эффективность тонких фазовых голограмм рассматривалась в работах [1, 2]. Однако исследование проводилось либо для косинусоидальной решетки, либо для голограммы с некоторым определенным профилем штриха. Обсуждению общего случая, т. е. решетки с произвольным профилем, и посвящена данная работа.

Рассмотрим сформированную двумя плоскими волнами тонкую фазовую голограмму с пространственной частотой ξ $\left(\text{период решетки } T=\frac{1}{\xi}\right)$. Пропускание ее можно представить в виде $t=\exp(i\varphi(x))$ [1], где $\varphi(x)$ — изменение фазы прошедшего через голограмму пучка света по координате x. При этом, восстанавливая голограмму с пропусканием t волной $E_n=A\exp(i(\omega t-ky))$, получим дифрагировавшую волну в виде $E=E_n t$. Пусть голографическая решетка имеет произвольный профиль штриха $\varphi(x)=cf(x)$, где $f(x)$ — функция, нормированная на единицу, а c — ее амплитуда.

Разложим функцию $\varphi(x)$ в ряд Фурье: $\varphi(x)=cf(x)=\frac{a_0 c}{2}+c\sum_{n=1}^{\infty}(a_n\cos 2\pi\xi nx+b_n\sin 2\pi\xi nx)$. Физический смысл каждого из слага-