

Л. С. ДИДЫК

**КОРРЕКЦИЯ ЗОННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ БОЛОМЕТРИЧЕСКОГО
ШИРОКОАПЕРТУРНОГО ДАТЧИКА КОНТРОЛЯ МОЩНОСТИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛАЗЕРОВ**

В последние годы в промышленность интенсивно внедряются лазерные технологии. Эффективное решение этой задачи возможно лишь при воспроизводимости и повторяемости технологического процесса. Этому в значительной мере способствуют средства измерения и постоянного контроля одного из важнейших параметров лазерного излучения — мощности. Для такого контроля чаще всего применяются болометрические датчики в виде микропроволочных решеток [1; 2], устанавливаемые на пути распространения пучка излучения, а для их калибровки — калориметры. Такие датчики имеют высокое быстродействие и могут быть изготовлены широкоапертурными, чего требуют большие (20—80 мм) диаметры лазерных пучков. Однако им присуще «старение», что приводит к необходимости калибровки через каждые полчаса [2]. Возможны также значительные погрешности контроля при перераспределении и изменении мощности в пучке, при смещении проволок в решетке

относительно пучка излучения, так как лишь небольшая доля мощности воздействует на решетки, значительно же большая часть излучения распространяется в пространстве между провсколами, не взаимодействуя с ними. От этого недостатка свободны широкоапертурные тонкопленочные болометры [3], являющиеся датчиками полного поглощения. Они могут быть использованы в контрольно-измерительных цепях технологических установок, если ответить небольшую долю мощности излучения лазера, заменив, например, одно из зеркал системы транспортировки лазерного излучения дифракционным зеркалом и использовав для измерительных целей первый или более высокий дифракционный порядок отраженного излучения, или другим известным способом.

Однако такие датчики имеют существенную неравномерность зонной характеристики (зависимость чувствительности от места попадания узкого пучка излучения на приемную поверхность): в периферийной области чувствительность может быть в 1,5—2 раза ниже, чем в центре. Это может вызывать значительную погрешность контроля. В данной работе рассмотрен способ коррекции (уменьшения неравномерности) зонной характеристики широкоапертурного тонкопленочного болометра.

Пусть болометр имеет форму бифилярной прямоугольной спирали [3] и включен в мостовую схему преобразования приращения сопротивления в электрический сигнал. Спираль будем рассматривать как последовательное соединение отдельных звеньев одинаковой ширины. При нагреве i -го звена, удаленного от центра датчика на расстояние x_i , болометр получит приращение сопротивления $\Delta R(x_i)$. Сигнал в диагонали моста в этом случае $U(x_i) = kU_m \Delta R(x_i)/R$, где k — коэффициент пропорциональности; U_m — напряжение питания моста; R — начальное сопротивление болометра. Если ширина i -го звена равна b_i , его толщина — h , а длина — l , то

$$\Delta R(x_i) = \rho \frac{l}{hb_i} \alpha \theta(x_i), \quad (1)$$

где ρ , α — удельное сопротивление напыленного материала и его температурный коэффициент сопротивления; $\theta(x_i) = \theta_0 S(x_i)$ — приращение температуры i -го звена при постоянной поглощенной мощности излучения; θ_0 — приращение температуры в центре датчика; $S(x)$ — функция распределения (чувствительности); x_i — расстояние от центра датчика до продольной оси i -го звена; i — номер звена при движении от центра к периферии.

Для достижения равномерности зонной характеристики при любом x необходимо обеспечить

$$\Delta R(x_i) = \text{const}. \quad (2)$$

Из (1) следует, что это условие выполнится, если ширина звеньев будет зависеть от их расстояния от центра датчика также, как зависит от этого расстояния значение чувствительности датчика с постоянной шириной звеньев, т. е. уменьшаться по мере удаления от центра (рис. 1, где 2 — подложка, 3 — термочувствительный слой, 1 — контактные площадки): $b_i = b_0 S(x_i)$ (3), где b_0 — макси-

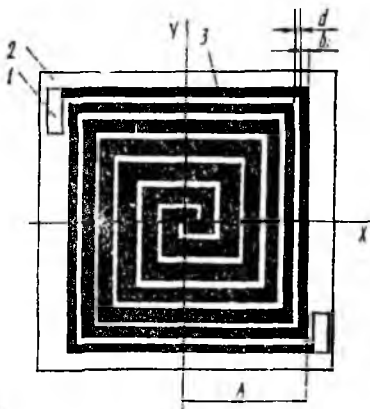


Рис. 1

мальная ширина звена, лежащего в центральной области датчика. Функцию $S(x)$ найдем, аппроксимируя зонную характеристику датчика (расчетную или экспериментальную) с постоянной шириной звеньев, например, полиномом третьей степени: $S(x) = 1 + q_1x + q_2x^2 + q_3x^3$ (4), где q_1, q_2, q_3 — постоянные, представляющие собой решение системы уравнений:

$$1 + \sum_{i=1}^3 q_i (x_i)^i = S_j, \quad (j = 1, 2, 3).$$

Величины x_1, x_2, x_3 задаются, а S_1, S_2, S_3 находятся из графика зонной характеристики датчика с равномерной шириной звеньев.

Причем значения x_1, x_2, x_3 выбираются такими, чтобы соответствующие им значения S_1, S_2, S_3 были равномерно расположены на спадающем участке зонной характеристики.

Минимальная ширина звена определяется возможностями технологического процесса изготовления масок. Поэтому расчет i -го звена следует начинать с выбора ширины последнего, наиболее узкого звена. Затем вычисляется ширина звеньев в центральной области, соответствующей области равномерной чувствительности датчика с постоянной шириной звеньев: $b_0 = b_{\min}/S(A)$ (5), где $S(A)$ — полином (4) при $x=A$; A — расстояние от центра датчика до границы термочувствительного слоя (рис. 1). В области спада зонной характеристики датчика с постоянной шириной звеньев, ширина звеньев рассматриваемого датчика уменьшается и вычисляется по формуле (3). Расстояние между звеньями выбирается исходя из технологических соображений.

Расстояние между центром датчика и осями звеньев, расположенных вертикально (рис. 1), запишем следующим образом: расстояние до оси $(i+1)$ -го звена равно расстоянию до оси i -го звена плюс половина ширины i -го звена, плюс ширина зазора между звеньями, плюс половина ширины $(i+1)$ -го звена. Ширина $(i+1)$ -го звена нам неизвестна, однако она близка к ширине i -го звена, поэтому при вычислении x_{i+1} можно принять $b_{i+1} \approx b_i$ (6); Тогда

$$x_{i+1} = x_i + b_i/2 + d + b_i/2 = x_i + b_i + d, \quad (7)$$

где d — ширина зазора между звеньями.

Уравнение (7) справедливо начиная с номера звена, лежащего за пределами равномерного участка зонной характеристики датчика с постоянной шириной звеньев.

Расстояние до осей звеньев, расположенных горизонтально, записывается по такому же принципу, только с той разницей, что ширина первого звена выбирается не b_0 , а $b_0/2$.

Приближение (6) не приводит к погрешности вычисления шири-

ны звеньев по выражению (3) с учетом (7), а лишь к некоторому изменению фактической ширины зазора между соседними звеньями относительно принятой при расчете:

$$d_{\text{факт}} = (x_{i+1} - b_{i+1}/2) - (x_i + b_i/2) > d,$$

что не имеет сколько-нибудь существенного значения. Кроме того, последнее звено может точно не уложиться в границы термочувствительного слоя A , но это также не имеет принципиального значения.

Рассмотрим пример расчета спирального датчика со скорректированной зонной характеристикой. Пусть болометр имеет форму квадратной спирали со стороной квадрата $2A \approx 24$ мм. Минимальную ширину звена выбираем равной 0,3 мм. Параметры $x_1, x_2, x_3, S_1, S_2, S_3$ определяем по зонной характеристике, снятой экспериментально для датчика таких же размеров с постоянной шири-

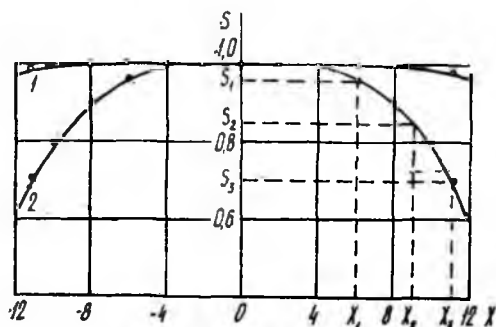


Рис. 2

ной звеньев (рис. 2): $x_1=6$ мм; $x_2=9$ мм; $x_3=11$ мм; $S_1=0,96$; $S_2=0,85$; $S_3=0,7$. Тогда постоянные коэффициенты полинома (4) равны: $q_1=-0,007939$; $q_2=0,002576$; $q_3=0,000394$. Находим ширину звеньев в центральной области датчика по формуле (5): $b_0=0,5$ мм. Размеры этой области, найденные из экспериментальной характеристики, равны примерно ± 4 мм. Ширину зазора между звеньями выбираем равной 0,3 мм. Тогда в центральной части датчика разместится по пять горизонтальных и по четыре с половиной вертикальных звена шириной 0,5 мм по каждую сторону от осей. Ширину остальных звеньев выбираем по формуле (3). Результаты расчетов сведены в таблицу.

Номер звена	Вертикальные звенья		Горизонтальные звенья	
	x_i , мм	b_i , мм	x_i , мм	b_i , мм
1	0	0,25	0,25	0,5
2	0,8	0,5	1,05	0,5
3	1,6	0,5	1,85	0,5
4	2,4	0,5	2,65	0,5
5	3,2	0,5	3,45	0,5
6	4,0	0,492	4,25	0,491
7	4,792	0,489	5,036	0,487
8	5,581	0,484	5,823	0,482
9	6,365	0,476	6,605	0,473
10	7,141	0,466	7,378	0,462
11	7,907	0,452	8,14	0,447
12	8,659	0,434	8,887	0,428
13	9,393	0,413	9,615	0,406
14	10,106	0,388	10,321	0,38
15	10,794	0,359	11,001	0,35
16	11,453	0,327	11,65	0,317

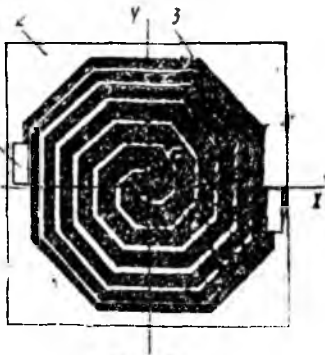


Рис. 3

Эффективность предлагаемого способа коррекции зонной характеристики видна на рис. 2, где представлены зонные характеристики датчика, рассчитанные по данной методике (1) и датчика без коррекции (2).

Термочувствительный элемент изготавливает в два приема: через одну маску напыляют звенья, расположенные горизонтально, через вторую — звенья, расположенные вертикально.

Заметим, что условие (2) выполняется лишь по осям x , y . В диагональных же направлениях оно не выполняется и эффективность коррекции зонной характеристики по этим направлениям ниже. Чтобы избежать этого, спираль целесообразно выполнить в виде восьмиугольника (рис. 3) или с большим числом углов, а в пределе в виде круглой бифилярной спирали с переменной шириной проводников.

Список литературы: 1. Кузьмичев В. М., Золотайкин и др. Компенсационный тонкопроводочный болометрический преобразователь мощности лазерного излучения // Измер. техника. 1987. № 5. С. 18—19. 2. Аверин А. П., Басов Н. Г., Глотов Е. П. и др. Универсальный технологический электроионизационный CO_2 -лазер // Изв. АН СССР. 1983. Т. 47, № 8. Сер. физическая. С. 1519—1526. 3. Дидык Л. С. Расчет зонных характеристик тонкопленочного болометра // Радиотехника. 1988. Вып. 86. С. 53—56.

Поступила в редколлегию 14.02.90