

С.В. ПОГОРЕЛОВ, канд. физ.-мат. наук, В.М. КУЗЬМИЧЕВ, д-р физ.-мат. наук

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ДВУХРЕШЕТОЧНЫЙ БОЛОМЕТРИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ЛИНЕЙНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Введение

Измерение линейной поляризации интенсивного и широкоапертурного лазерного излучения представляет значительные трудности и является актуальной задачей. Для измерения параметров поляризации лазерного излучения используются, в основном, измерительные системы, включающие поляризаторы, которые пропускают только часть лазерного излучения, имеющего определенную поляризацию. Для измерения параметров поляризации мощного лазерного излучения необходимо дополнительно использовать различные ослабители, а в случае широкоапертурного лазерного излучения приходится использовать различные фокусирующие системы. Введение дополнительных устройств приводит к снижению точности, усложняет процесс измерения и повышает стоимость измерительной системы.

В работе предлагается использовать тонкопроволочные болометрические измерители для определения параметров линейной поляризации лазерного излучения. Тонкопроволочные болометры способны работать в широком спектральном диапазоне, однако имеют определенные преимущества перед другими видами ПИП при измерении параметров лазерного излучения в среднем и дальнем инфракрасном диапазонах. Тонкопроволочные болометры являются измерителями проходного типа, не имеют ограничений на размер входной апертуры и могут измерять параметры непрерывного и импульсного лазерного излучения.

Анализ последних публикаций

В работах [1, 2] показана возможность измерения линейной и параметров эллиптической поляризации излучения с использованием трехрешеточных тонкопроволочных болометров. Предложенный в работе группы ученых [3] метод измерения линейной поляризации лазерного излучения двухрешеточным тонкопроволочным болометром также не всегда дает возможность однозначно определить угол направления поляризации из-за взаимно перпендикулярного расположения болометрических элементов решеток. Некоторые углы направления поляризации излучения относительно решеток совпадают, а другие направлены в противоположных направлениях, что и приводит к неоднозначности.

Цель работы – однозначное определение угла направления линейной поляризации излучения двухрешеточным болометром.

Результаты исследования

Неоднозначность определения угла поляризации излучения устраняется размещением решеток не со взаимно перпендикулярным направлением их болометрических элементов.

Пусть углы болометрических элементов решеток будут $\psi_1 = 0$ и $\psi_2 \neq \frac{\pi}{2}$. Каждая решетка состоит из тонкопроволочных платиновых болометрических элементов диаметром около $d \approx 10$ мкм, соединенных последовательно (рис. 1). Одна из решеток может поворачиваться относительно другой на угол θ , изменяющийся от 0° до 10° . Каждая решетка имела электрическое смещение от источника постоянного напряжения e через нагрузочные сопротивления R_i , которые значительно превышают сопротивления болометрических решеток R . Входные сопротивления каналов аналогово-цифрового

преобразователя (АЦП), на которые поступают сигналы решеток, должны значительно превышать сопротивление решеток и тогда АЦП регистрирует сигналы, пропорциональные напряжениям на решетках.

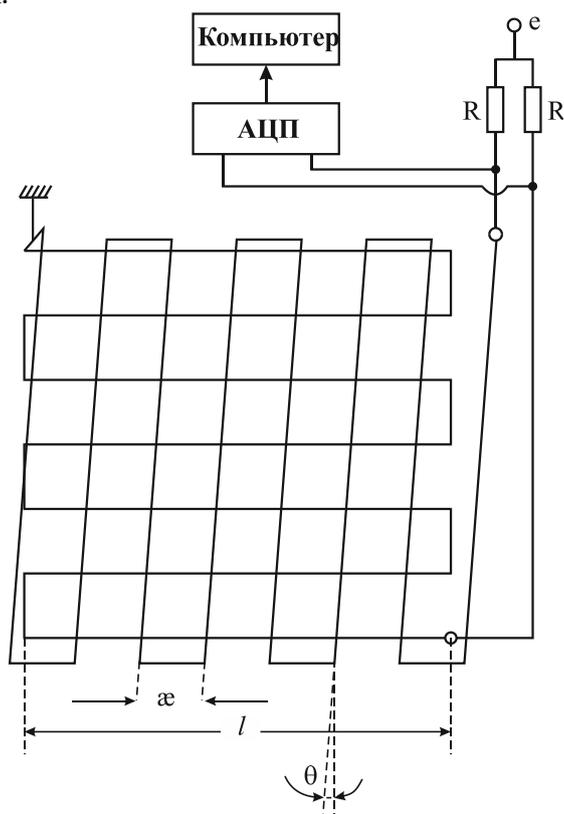


Рис. 1

Рассмотрим предложенный метод на примере импульсного режима излучения лазера, когда длительность его импульса $t_{\text{и}}$ намного меньше тепловой постоянной времени болометрических элементов τ , а также для линейного режима работы болометра, когда относительное приращение его сопротивления под действием излучения прямо пропорционально поглощенной энергии. В этих условиях сигналы решеток U_i можно записать

$$U_i = \frac{\Delta R_i}{R_{i0}} = \eta^E \frac{\bar{E}}{m} k_i, \quad i=1,2, \quad (1)$$

где R_{i0} и ΔR_i – начальное и абсолютное приращение сопротивления i -й решетки; $\eta^E = \alpha q^E / c$ – коэффициент преобразования болометрических элементов, α – температурный коэффициент сопротивления материала болометра, c – удельная теплоемкость болометра, q^E – фактор эффективности поглощения (ФЭП) болометра для E -поляризованного излучения, когда его электрический вектор направлен вдоль оси болометрического элемента; m – погонная масса болометрического элемента; \bar{E} – средняя погонная падающая оптическая энергия на болометрические элементы; k_i – поляризационные коэффициенты взаимодействия излучения с болометрическими элементами решеток, показывающие зависимость поглощения оптического излучения от угла направления поляризации излучения и равные

$$k_i = \cos^2(\varphi - \psi_i) + K_D \sin^2(\varphi - \psi_i), \quad i = 1, 2, \quad (2)$$

где φ – угол направления поляризации излучения; $K_D = q^H / q^E$ – коэффициент дихроизма

болометрических элементов; q^H – ФЭП болометрического элемента для H -поляризованного излучения, когда его электрическое поле направлено перпендикулярно оси болометрического элемента.

Сумма сигналов решеток будет

$$U_1 + U_2 = \eta^E \frac{\bar{E}}{m} (k_1 + k_2). \quad (3)$$

Нормированные сигналы решеток определяются с учетом (3)

$$U_{in} = \frac{U_i}{\eta^E \frac{\bar{E}}{m}} = k_i = (k_1 + k_2) \frac{U_i}{U_1 + U_2} \quad (4)$$

и они равны поляризационным коэффициентом взаимодействия k_i .

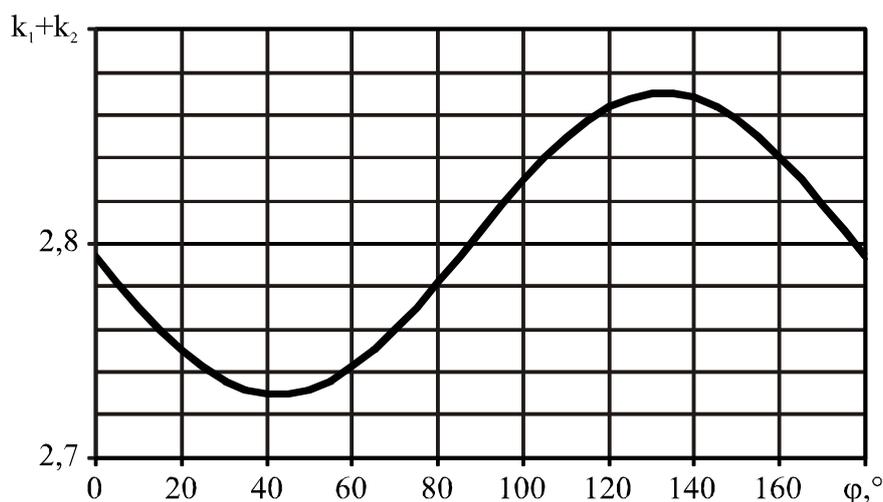


Рис. 2

Используя выражения (2) и (4), определяют возможные два угла поляризации излучения относительно каждой решетки:

$$\varphi_{i1,i2} = \psi_i \pm \arcsin \left\{ \frac{1}{K_D - 1} \left[(k_1 + k_2) \frac{U_i}{U_1 + U_2} - 1 \right] \right\}^{1/2} \quad (5)$$

Для взаимно перпендикулярных болометрических элементов решеток сумма $k_1 + k_2 = K_D + 1$ и не зависит от угла φ .

Для другого углового расположения болометрических элементов решеток эта сумма не будет постоянной величиной, а будет зависеть от угла φ . На рис. 2 показана зависимость $k_1 + k_2$ от угла φ для значения коэффициента дихроизма $K_D = 1,8$ и углов $\psi_1 = 0$ и $\psi_2 = 85^\circ$. Видно, что эта сумма может изменяться от среднего значения $K_D + 1 = 2,80$ в пределах $\pm 2,5\%$.

При определении угла линейной поляризации излучения в первом приближении $\varphi'_{i1,i2}$ по сигналам решеток U_i и формуле (5) принимаем $k_1 + k_2 = K_D + 1$. По углам $\varphi'_{i1,i2}$, которые близки в сечении оптического пучка для обеих решеток, с использованием выражения (2) определяем сумму $(k_1 + k_2)$ и с ней снова по формуле (5) определяем уточненные значения углов $\varphi_{i1,i2}$, в которых исключена основная часть систематической погрешности за счет перпендикулярности болометрических элементов решеток. Направления несовпадающих углов $\varphi_{i1,i2}$ в сечении пучка различаются на угол $(\frac{\pi}{2} - \psi_2)$. Таким образом, неоднозначность определения угла направления поляризации излучения устраняется полностью.

Рассмотрим пример использования обоснованного способа измерений. Пусть $\psi_1 = 0$, $\psi_2 = 85^\circ$, $K_D = 1,8$ и $\varphi = 30^\circ$. В соответствии с выражением (2) поляризационные коэффициенты взаимодействия будут $k_1 = 1,2$ и $k_2 = 1,5368$. Сигналы решеток будут прямо пропорциональны коэффициентам k_1 и k_2 . В первом приближении принимаем $k_1 + k_2 = K_D + 1 = 2,8$. По выражению (5) получаем значения углов $\varphi'_{11,12} = \pm 30,47^\circ$ и $\varphi'_{21,22} = 85^\circ \pm 57,76^\circ$. Близкими углами являются $\varphi'_{11} = 30,47^\circ$ и $\varphi'_{22} = 27,24^\circ$. Вычисляем теперь для угла φ'_{11} сумму $k'_1 + k'_2 = 2,7363$ и далее по формуле (5) уточненные значения углов $\varphi_{11,12} = \pm 29,98^\circ$ и $\varphi_{21,22} = 85^\circ \pm 54,98^\circ$. Совпадающими углами являются $\varphi^*_{11} = +29,98^\circ$ и $\varphi^*_{22} = +30,02^\circ$. Направления несовпадающих углов отличаются на $\varphi_{11} - \varphi_{21} = 150^\circ - 139,98^\circ = 10,02^\circ$.

Для угла $\varphi' = 27,24^\circ$ сумма поляризационных коэффициентов составит $k'_1 + k'_2 = 2,7399$ и уточненные углы будут $\varphi^{**}_{11} = +30,11^\circ$ и $\varphi^{**}_{22} = +29,87^\circ$. Среднее значение измеренных углов составит

$$\bar{\varphi} = \frac{1}{4}(\varphi^*_{11} + \varphi^*_{22} + \varphi^{**}_{11} + \varphi^{**}_{22}) = 30,00^\circ,$$

что до $0,005^\circ$ совпадает с углом линейной поляризации смоделированного измеряемого излучения.

Выводы

Путем размещения элементов решеток не перпендикулярно друг к другу была усовершенствована методика измерения линейной поляризации лазерного излучения двухрешеточным тонкопроволочным болометром.

Список литературы: 1. *Измерение параметров эллиптической поляризации лазерного излучения тонкопроволочными болометрами* / В.М. Кузьмичев, С.В. Погорелов, Е.В. Кузьмичева // Украинский метрологический журнал. – 2009. – №2. – С.35 – 38. 2. *Измерение линейной или эллиптической поляризации лазерного излучения трехрешеточным болометром* / В.М. Кузьмичев, С.В. Погорелов, Б.В. Сафронов [и др.] // Радиофизика и радиоастрономия. – 2009. – Т. 14. – №2. – С.214 – 221. 3. *Двухрешеточный болометрический измеритель линейной поляризации лазерного излучения* / В.М. Кузьмичев, С.В. Погорелов, Б.В. Сафронов [и др.] // Метрология [Ежемесячное приложение к НТЖ «Измерительная техника»]. – 2009. – №5. – С.17 – 22.

