

Г. Г. ИШАНИН, Г. В. ПОЛЬЩИКОВ, Е. И. ШЕВНИНА

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРЕНЕЛЕВСКИХ ОТВЕТВИТЕЛЕЙ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПРОХОДНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Проанализированы схемы построения френелевских ответвителей для проходных измерителей энергетических параметров лазерного излучения. Определены области использования ответвителей в зависимости от их конструктивного исполнения.

Ключевые слова: френелевский ответвитель, проходной измеритель, поляризация.

В практике физического эксперимента проходные системы контроля энергетических параметров лазерного излучения используются достаточно широко. Применение таких систем повышает воспроизводимость результатов особенно при относительных измерениях.

Кроме широко распространенных встроенных систем оперативного контроля, используются проходные измерители энергетических параметров излучения, разработанные в качестве приборов, функционирование которых не зависит от схемы конкретной экспериментальной или технологической установки. Определяющее отличие проходных измерителей от систем оперативного контроля заключается в возможности их включения в оптическую схему установки или удаления из нее, при этом работа экспериментальной или технологической установки не нарушается.

В соответствии с вышесказанным проходной измеритель должен обеспечивать минимальное искажение первоначального пучка излучения, и в определенных пределах его показания не должны зависеть от вариации других параметров лазерного излучения. В качестве базовой можно предложить разработанную авторами следующую структуру проходного измерителя параметров лазерного излучения (рис. 1):

1 — ответвитель лазерного излучения, обеспечивающий точное и стабильное выделение малой части исходного потока; важнейшей характеристикой ответвителя является его коэффициент прозрачности и чувствительность к поляризационным и спектральным искажениям, а также чувствительность к погрешностям юстировки;

2 — компенсатор геометрических искажений исходного пучка лазерного излучения, которые возникают под действием ответвителя; основные требования к этому элементу — обеспечение минимальных и стабильных энергетических искажений при компенсации геометрических;

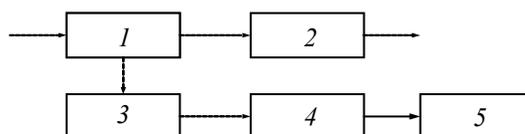


Рис. 1

3 — компенсатор поляризационных и спектральных (при необходимости) искажений измерительного канала;

4 — измерительный преобразователь (приемник излучения);

5 — электронный блок обработки сигнала.

Прибор, построенный в соответствии с такой структурной схемой, может быть установлен в какую-либо систему или изят из нее без нарушения работоспособности системы и без ее дополнительной юстировки.

Практически всегда при использовании ответвителей потока излучения образуются несколько дополнительных пучков излучения, энергетические соотношения между которыми связаны как с параметрами измеряемого потока, так и с параметрами измерительной системы. Это создает предпосылки к созданию многоканальных измерительных систем проходного типа. В зависимости от используемой оптической схемы можно увеличить информативность измерительного устройства и обеспечить более эффективную компенсацию возникающих погрешностей.

Необходимость четкого согласования конкретного ответвителя (как оптической детали) с системой компенсации энергетических искажений обуславливает целесообразность представления их в структуре измерительной системы как единого целого.

Рассмотрим общую схему проходного измерителя на примере классического проходного измерителя с френелевским ответвителем [1] (рис. 2). В данной схеме в качестве ответвителя лазерного излучения используется плоскопараллельная пластинка 1, которая выделяет малую часть общего потока. Компенсатором геометрических искажений служит аналогичная плоскопараллельная пластинка 2, расположенная зеркально по отношению к первой. Излучение, переотраженное от второй грани первой плоскопараллельной пластинки, „отрезается“ диафрагмой 6. Компенсатором поляризационных искажений в данной схеме служит поляризатор 3, установленный на входе приемника излучения 4. Сигнал с приемника поступает на электронный блок обработки сигнала 5, с которого снимаются показания для дальнейшего использования.

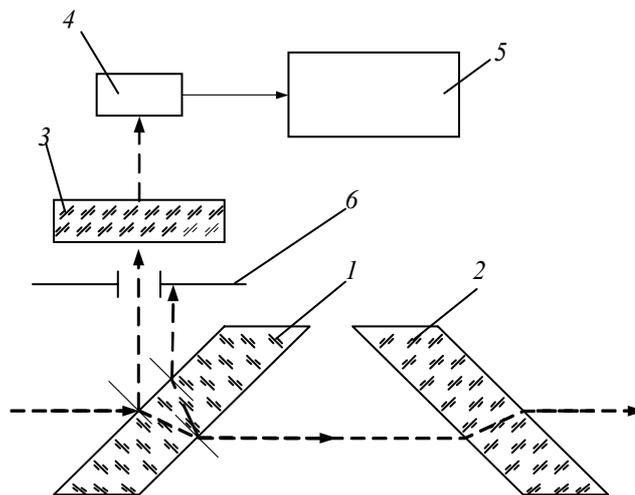


Рис. 2

Прежде чем рассматривать возможные схемы построения ответвителя, необходимо четко сформулировать требования к ним.

Во-первых, это требования к ответвителю как к проходному элементу оптической системы, который может присутствовать либо отсутствовать в составе установки. Это означает, что коэффициент прозрачности должен стремиться к единице и должны отсутствовать искажения геометрических параметров падающего потока излучения. Ответвитель не должен обладать оптической силой, и его установка, по возможности, не должна вызывать смещение оси пучка излучения и изменять направление его распространения.

Во-вторых, это требования по обеспечению точности работы прибора. Существенная часть общей погрешности измерителя возникает за счет интерференции пучков излучения, отраженных от передней и задней поверхностей светоделителя. Для защиты прибора от интерференционного источника погрешности необходимо либо использовать только потоки излучения, отраженные от одной поверхности оптической детали, либо разделять потоки в оптической схеме так, чтобы не допустить интерференции.

Использование эффекта просветления задней поверхности светоделителя существенно увеличивает коэффициент прозрачности ответвителя и уменьшает интерференционную погрешность, но полностью ее не исключает. Поэтому в данном случае используется принцип разделения пучков излучения за счет позиционного смещения (увеличения оптической толщины детали) либо за счет углового разделения пучков отраженного излучения (с использованием клиньев и призм) с последующим геометрическим разделением потока.

Третье важное требование, которое необходимо учитывать при проектировании схемы ответвителя, — это обеспечение адекватности поляризационной структуры ответвленного пучка излучения поляризационной структуре падающего пучка.

Для определения величины потока излучения контрольного канала используются амплитудные (r) и энергетические (R) значения коэффициента отражения для p - и s -компонентов излучения лазера. Согласно закону Снеллиуса соотношение между углами падения и преломления света (i_1, i_2) на границе раздела двух сред имеет следующий вид [2]:

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2, \quad (1)$$

тогда отражение от этой границы характеризуется коэффициентами

$$r_p = \operatorname{tg}(i_1 - i_2) / \operatorname{tg}(i_1 + i_2) \text{ и соответственно } R_p = r_p^2, \quad (2)$$

$$r_s = -\sin(i_1 - i_2) / \sin(i_1 + i_2) \text{ и соответственно } R_s = r_s^2. \quad (3)$$

Как показывает несложный анализ выражений (2) и (3), выполнить третье требование путем простой установки поляризатора не удастся. Необходима его четкая ориентация для компенсации неравенства коэффициентов отражения. Используя закон Малюса для пропускания поляризатором отдельных компонентов излучения, получаем равенство [3]

$$R_p \cos^2 \gamma = R_s \sin^2 \gamma,$$

из которого можно найти значение компенсирующего угла разворота поляроида:

$$\gamma = \arctg \sqrt{R_p / R_s}.$$

В случае плоскополяризованного излучения большое значение коэффициента прозрачности можно обеспечить, используя разделяющие поверхности при угле падения света, близком к углу Брюстера. Однако приходится учитывать, что если для p -компонента при данном угле падения коэффициент отражения резко уменьшается, то для s -компонента происходит даже некоторое его увеличение. Следовательно, применение такого разделителя характеризуется существенными поляризационными искажениями, влияние которых проявляется двояко. Во-первых, значения коэффициента прозрачности для p - и s -компонентов существенно различаются и в зависимости от конкретного исполнения могут отличаться в 20—40 раз; во-вторых, поляризационные искажения приводят к появлению дополнительных ошибок. Эллиптичность плоскополяризованного излучения на уровне 1 % считается достаточно малой; ее флуктуации в диапазоне 0,5—1,5 % приведут при измерении к ошибке 10—50 %, что, безусловно, недопустимо. Кроме того, по мере приближения значения угла падения света к углу Брюстера происходит все более сильное изменение коэффициента отражения. Поэтому при использовании этого метода увеличения коэффициента прозрачности приходится применять специальные компенсационные меры.

На рис. 3, в развитие общей схемы (см. рис. 2), приведена оптическая схема ответвителя, в которой, в отличие от предыдущего варианта, для компенсации поляризационных иска-

жений используется отражение от гипотенузной поверхности призмы 2. В этой схеме производится совместная обработка сигналов двух измерительных каналов, и влияние отклонения падающего луча относительно оси измерителя компенсируется дополнительным приемным узлом 6—8. При повороте оси потока излучения относительно оси ответвителя при уменьшении отражения от плоскопараллельной пластинки 1 происходит увеличение отражения от плоскопараллельной пластинки 5. Сигналы от приемников излучения 4, 8 поступают в блок обработки, где вырабатывается компенсированный сигнал. Рассеивающие фильтры 3 и 7 защищают приемник излучения от „горячих“ зон сечения пучка.

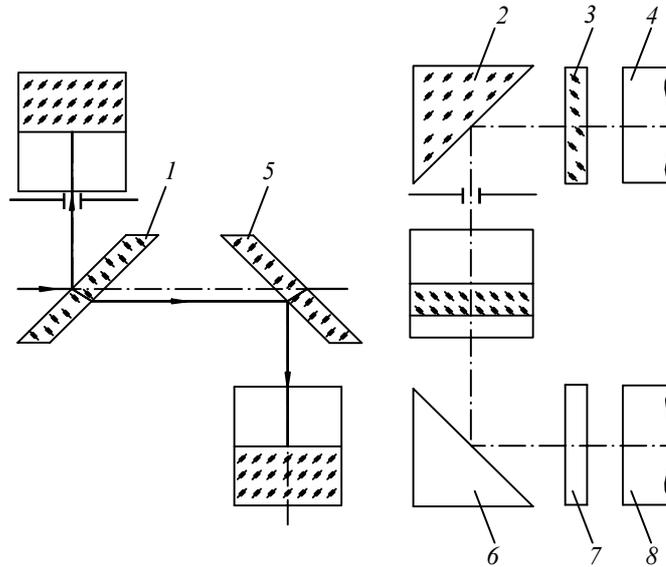


Рис. 3

К недостаткам рассмотренных схем следует отнести их достаточно большие габариты в осевом направлении, так как для исключения интерференционных искажений разделение пучков, отраженных и переотраженных от поверхностей, происходит за счет увеличения толщины плоскопараллельных пластинок. С увеличением оптической толщины детали повышаются требования к качеству материала. При больших диаметрах пучка излучения лазера такая схема разделения пучков становится практически нереализуемой.

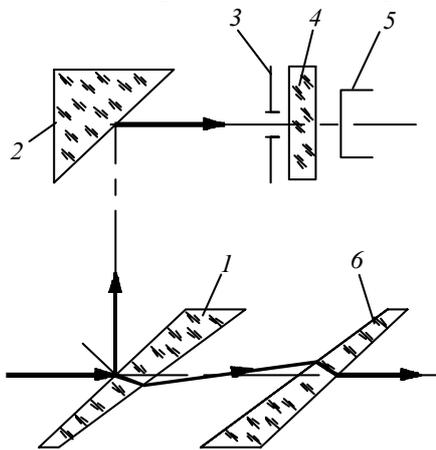


Рис. 4

В связи с этим была разработана схема ответвителя (рис. 4) с клиновидным разделительным компонентом 1 и клиновидным компенсатором геометрических искажений 6 [4]. Излучение лазера подается на переднюю поверхность клина 1 и после отражения направляется на гипотенузную грань призмы 2. Для удобства отображения оптической схемы на рис. 4 плоскость расположения призмы 2, диафрагмы 3, рассеивателя 4 и приемника 5 развернута на 90°. Реально она должна быть ортогональна плоскости падения излучения на клин 1.

Пучок излучения, отраженный от задней поверхности клина, претерпевает отклонение на двойной угол клина и не проходит через диафрагму 3. Важным достоинством этого типа ответвителя является то, что оптический клин формирует веер переотраженных пучков, которые можно использовать при синтезе многоканального измерителя.

Достаточно часто требуется обеспечить большое значение коэффициента прозрачности проходного измерителя при использовании излучения с неявно выраженной поляризационной структурой или даже неполяризованного излучения. Большой скачок коэффициента пре-

ломления на границе раздела сред в рассмотренных схемах ограничивает возможности их развития в этом направлении.

На рис. 5 представлена схема ответвителя, основой которого является оптический блок, составленный из призм 1, 2, 3, 4, выполненных из материалов с различными показателями преломления. Материалы призм могут быть выбраны так, что благодаря дисперсии оптических свойств происходит выравнивание чувствительности измерителя в целом. Передняя поверхность призмы 1 и задняя поверхность призмы 2 просветлены для увеличения коэффициента прозрачности. Призмы 3 и 4 представляют собой компенсаторы поляризационных искажений основного измерительного канала, в который входят рассеиватель 5 и приемник излучения 6. Наличие дополнительного канала 7, 8 позволяет производить дополнительные, необходимые в конкретном случае, измерения параметров потока излучения. Подобная схема может быть реализована в виде компактной оптико-электронной измерительной головки с коэффициентом пропускания до 0,96—0,98.

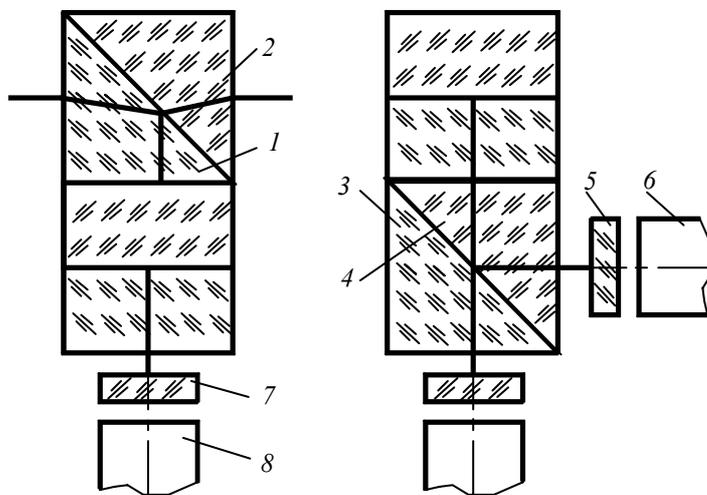


Рис. 5

В представленном обзоре наиболее перспективных схем ответвителей лазерного излучения для построения проходных измерителей его энергетических параметров отсутствует их математическое описание и анализ свойств при конкретном исполнении. Подобные материалы имеют большой объем для каждой из приведенных схем и требуют рассмотрения в отдельных публикациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Измерение энергетических параметров и характеристик лазерного излучения / Под ред. А. Ф. Котюка. М.: Радио и связь, 1981.
2. Берри Р. У. и др. Физика тонких пленок: Пер. с англ. Т. 2. Современное состояние исследований и технические применения / Под общ. ред. Г. Хасса, Р. Э. Туна. М.: Мир, 1967. 396 с.
3. Волкова Е. А. Поляризационные измерения. М.: Изд-во стандартов, 1974.
4. Польщиков Г. В., Шевнина Е. И. Анализ возможности стабилизации параметров проходного измерителя потока лазерного излучения // Науч.-техн. вестн. СПбГУ ИТМО. 2005. Вып. 18.

Сведения об авторах

Геннадий Григорьевич Ишанин

— д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптико-электронных приборов и систем; E-mail: Ishanin@mail.ru

Георгий Владимирович Польщиков

— канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютеризации и проектирования оптических приборов; E-mail: polschikov@list.ru

Елена Ивановна Шевнина

— ООО „СокТрейд“, Санкт-Петербург; ведущий инженер; E-mail: eshevnina@soctrade.ru

Рекомендована кафедрой компьютеризации и проектирования оптических приборов СПбГУ ИТМО

Поступила в редакцию 26.04.11 г.