

УДК 53.08

ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.В. Токарев, Р.Ю. Фрик

Разработан прибор для измерения мощности излучения непрерывного лазера. Основой метода является измерение скорости нагрева приемника излучения, содержащего покрытие, поглощающее всю падающую мощность. Диапазон измеряемых мощностей 1–100 Вт.

Ключевые слова: измерение мощности; поглощающее покрытие; лазеры.

LASER RADIATION POWER METER

A. V. Tokarev, R. Y. Frik

The instrument was developed for measuring the radiation power of a continuous laser. The basis of the method is the measurement of the heating rate of a radiation receiver containing a coating that absorbs all the incident power. The range of measured power is 1–100 W.

Keywords: power measurement; absorbing coating; lasers.

Для определения мощности лазерного излучения существует множество различных методов (калориметрический, пироэлектрический, фотоэлектрический, пондеромоторный метод и др.) и приборов. За основу был взят калориметрический метод [1].

Наиболее широкое распространение для измерения таких усредняемых во времени энергетических параметров лазерного излучения, как энергия и средняя мощность, получили калориметры. Они имеют конструктивно развитый приемный элемент, не объединенный с чувствительным элементом. К достоинствам калориметров относятся широкий спектральный и динамический диапазон работы, высокая линейность, точность и стабильность характеристик, простота конструкции, возможность их использования с высокоточными, хотя и инерционными цифровыми приборами, возможность калибровки преобразователей по эквивалентному электрическому воздействию [2].

Для измерения тепловой энергии, выделившейся в первичном измерительном преобразователе (далее ПИП), обычно используют:

- термоэлектрический эффект Зеебека (возникновение ТЭДС между нагретым и холодным спаями двух разнородных металлов или полупроводников);
- явление изменения сопротивления металлов и полупроводников при изменении температуры (боллометрический эффект); фазовые переходы “твердое тело-жидкость” (лед-вода);

- эффект линейного или объемного расширения веществ при нагревании и др. [1, 3].

Разработан прибор для измерения мощности излучения непрерывного лазера с длиной волны 10,6 мкм. Основой метода является измерение скорости нагрева приемника излучения, на котором нанесено поглощающее покрытие, позволяющее измерить до 75 % падающей мощности. Градуировку измерителя производили калориметрическим методом.

С помощью прибора измерения мощности можно произвести диагностику лазера, узнать его реальную мощность. Также с его помощью можно отследить потери мощности лазерного излучения, при отражении от направляющих зеркал станка. Во время работы станка на зеркала оседает пыль, сажа, в результате потери мощности на одном зеркале могут достигать от 3 % и выше, а с учетом того, что в станках используются как минимум три зеркала, в итоге потери достигают немалых значений [4].

Калибровка измерителя мощности CO₂ лазера. Любому изобретаемому устройству всегда требуется калибровка – для обеспечения точности устройства, разброса значений шкалы, правдоподобности измерений, вычисления погрешностей, определения нормальных условий эксплуатации, которая осуществляется как опытным путем, так и теоретически, математически и другими методами. В нашем случае измеритель мощности постоянного лазерного излучения калибровали опытным путем, то есть калориметрическим методом.

Было проведено два разных эксперимента определения мощности лазерного излучения калориметрическим методом.

В первом случае использовали жидкий азот. Для него был изготовлен специальный термос, который обеспечивал меньшее испарение азота (естественные потери при испарении). В опыте использовали следующее оборудование:

- высокоточные весы;
- разработанный термос с жидким азотом;
- секундомер;
- лазер с длиной волны 10,6 мкм.

Во время проведения эксперимента были подсчитаны естественные потери, испаряемые из термоса. Замерено точное время и определены потери массы во время испарения жидкого азота из термоса при облучении лазером. Поскольку у нас есть все известные нам параметры, то мы можем определить точную мощность, выдаваемую лазером. Мощность определим по формуле удельной теплоты парообразования и конденсации жидкого азота (1):

$$L = \frac{Q}{m}, \quad (1)$$

где L – удельная теплота парообразования; Q – теплота, истраченная на испарение; m – масса.

Из уравнения (1) выведем удельную теплоту парообразования:

$$Q = L \cdot m. \quad (2)$$

Разделим обе части на t (время испарения):

$$\frac{Q}{t} = \frac{L \cdot m}{t} \quad (3)$$

Отсюда получаем:

$$P = \frac{L \cdot m}{t} \text{ (Вт)}. \quad (4)$$

Во втором эксперименте использовали воду. Для проведения эксперимента также была разработана специальная установка. Мощность лазерного излучения определяли через формулу удельной теплоемкости вещества. В опыте использовали следующее оборудование:

- термос с водой;
- мешалку. Так как вода имеет плохую теплопроводность, жидкость постоянно следовало перемешивать;
- лазер с длиной волны 10,6 мкм;
- высокоточные весы;
- термометр.

Формула удельной теплоемкости:

$$C = \frac{Q}{m\Delta T}, \quad (5)$$

где c – удельная теплоемкость; Q – количество теплоты; m – масса вещества; ΔT – разность конечной и начальной температур.

Из формулы (5) выведем количество теплоты Q , и разделим все на время нагрева вещества.

Получим следующее уравнение:

$$P = \frac{c \cdot m \cdot \Delta T}{t} \text{ (Вт)}. \quad (6)$$

Мощность лазерного излучения лазера найдем через формулу (6).

Поглощающее покрытие первичного измерительного преобразователя (далее ПИП). Так как почти все металлы отражают лазерное излучение на 90 %, было принято решение модифицировать верхнее покрытие радиатора для более высокого коэффициента поглощения [5].

С помощью микродугового оксидирования поверхности и электролитов на основе патента РФ № 2459890, на поверхность ПИП было нанесено оксидно-керамическое покрытие. До начала нанесения покрытия требовалась очистка верхнего слоя алюминиевого радиатора от внешних загрязнений, так как без очистки покрытие получалось неравномерным, с плохой адгезией. Для очистки поверхности использовали азотную кислоту (HNO_3). После обработки радиатор стал пригодным для равномерного нанесения оксидно-керамического покрытия. На рисунке 1 показан радиатор, очищенный в азотной кислоте до нанесения оксидно-керамического покрытия.

Процесс нанесения поглощающего слоя. Первый электролит был вылит в емкость, в которой протекает процесс микродугового оксидирования. Эта емкость с помощью диффузионного охлаждения поддерживает температуру электролита в районе 35 °С. Далее в рабочую среду был погружен радиатор. В начале процесса нанесения покрытия на радиатор подавалось напряжение 1000 В и ток 15 А. При этой плотности тока процесс продолжался 10 минут. Следующим этапом электролит был заменен другим химическим составом, нанесение продолжалось 10 минут, напряжение питания составило 1000 В, плотность тока 25 А. Для завершения и закрепления покрытия электролит был заменен следующим, указанным в патенте, время выдержки составило 10 минут, напряжение 1000 В, плотность тока 35 А. В результате было получено оптически черное покрытие с высокой адгезией и достаточно высоким коэффициентом поглощения. Как указано в патенте, это покрытие поглощает инфракрасное лазерное излучение с длиной волны 10,6 микрометра до 75 %. На рисунке 2 показан радиатор после нанесения оксидно-керамического покрытия. Было проведено несколько тестовых опытов, в которых нанесенное покрытие облучалось лазерным излучением и подвергалось механическому соскабливанию, в них был получен хороший результат. Покрытие имеет хорошую

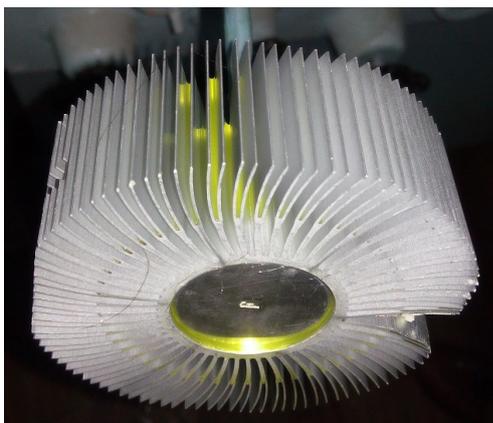


Рисунок 1 – Радиатор, очищенный в азотной кислоте, до нанесения оксидно-керамического покрытия



Рисунок 2 – Радиатор после нанесения оксидно-керамического покрытия

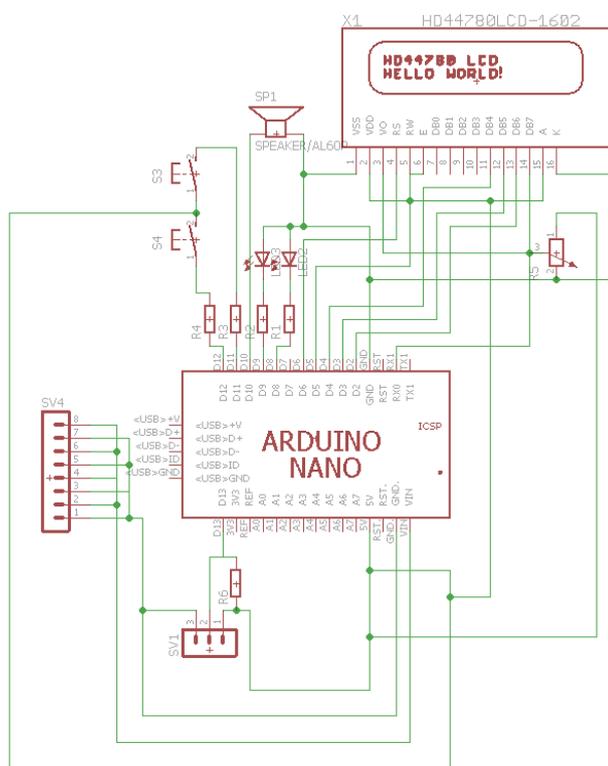


Рисунок 3 – Принципиальная схема измерителя мощности

адгезию и выдерживает точечное облучение с высокой температурой [6].

Электронная схема измерителя мощности CO₂ лазера. Вычислительную логику прибора обрабатывали микроконтроллером фирмы Atmel ATmega328p на базе открытой платформы Arduino

папо для разработки и прототипирования электронных устройств.

Код программы измерителя мощности разработан в среде программирования Arduino IDE, языки программирования: Processing и С. На рисунке 3 представлена принципиальная схема измерителя мощности (обрабатывающее устройство).

Данное устройство обладает высокими показателями точности и чувствительности к измерению мощности лазерного излучения, а также достаточно просто и экономично по сравнению с аналогичными приборами. С помощью такого компактного измерителя можно оперативно контролировать состояние лазерного станка.

Литература

1. Ашурлы З.И. Электроразрядный импульсный лазер / З.И. Ашурлы, Ю.М. Васьковский, И.А. Гордеева, Л.В. Мальшев, Р.Е. Ровинский, А.А. Холодилов // Квантовая электроника. 1980. Т. 7. № 7.
2. Иващенко П.А. Измерение параметров лазеров / П.А. Иващенко, Ю.А. Калинин, Б.Н. Морозов. М.: Изд-во стандартов, 1982. С. 86.
3. Ишанин Г.Г. и др. Проходной измеритель средней мощности технологического лазера / Г.Г. Ишанин и др. // Тепловые приемники излучения: тез. докл. М., 1988.
4. Ровинский Р.Е. Мощные технологические лазеры / Р.Е. Ровинский. М., 2005.
5. Гильман А.Б. Плазмохимическая модификация поверхности полимерных материалов / А.Б. Гильман // Школа по плазмохимии для молодых ученых России и стран СНГ. Иваново: ИГХТУ, 1999.
6. Патент РФ № 2459890.