

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО СОЕДИНИТЕЛЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕРЕДАЮЩИХ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ ВОСП

Введение

На сегодняшний день развитие волоконно-оптических телекоммуникационных технологий в основном определяется качеством используемых компонентов, в том числе и передающих оптоэлектронных модулей (ПОМ). Вопрос обеспечения минимальных оптических потерь на начальном этапе передачи сигнала является очень важным, так как в зависимости от эффективности ввода оптического излучения в ОВ в значительной степени определяется энергетический бюджет современных ВОСП. Задача согласования излучателя с ОВ решается при помощи оптических соединителей (ОС), которые чаще всего собираются с применением лазерной сварки.

При производстве ПОМ [1] самым важным (и дорогостоящим) является точное позиционирование ОС как до, так и после применения сварки, так как во время процесса сварки наблюдается нежелательный послесварочный сдвиг (PWS - Post-Weld Shift), который влияет на качество ПОМ, собранных с применением лазерного сварочного процесса. Актуальной задачей является контроль его величины и коррекции в процессе сварки, направленные на уменьшение оптических потерь.

Постановка задачи исследования

При анализе состоящих вопросов позиционирования ОВ и исследований PWS на сегодняшний день определено, что эффект PWS при производстве ПОМ описан только с точки зрения его качественного влияния на результаты сварки [2], не предусмотрены способы измерения его величины и величины корректирующего воздействия.

Цель исследования – разработка методики контроля позиционирования лазера и оптоволокну во время лазерной сварки ОС, которая должна учитывать влияние PWS и корректировать его.

Задачи работы:

- выбор метода позиционирования наконечника оптоволокну и лазера;
- исследование PWS при лазерной сварке ОС;
- разработка методики количественного измерения и коррекции PWS;
- экспериментальные исследования разработанной методики;
- анализ полученных результатов экспериментальных измерений и коррекции PWS.

Результаты теоретических исследований. Анализ эффекта PWS

Одним из самых широко применяемых типов ОС является коаксиальный TO-Can тип (расположение выводов подобно транзистору в металлическом корпусе), имеющий несколько разновидностей [3].

Для исследования выбран ОС типа розетка, в котором ОВ непосредственно не присоединено к лазерному диоду (ЛД). Его конструкция представлена на рис. 1. ЛД помещен в держатель из нержавеющей стали. Оптический наконечник помещен в центрирующую втулку той же марки стали со встроенной керамической втулкой, которая предназначена для уменьшения теплового влияния на центрирующую втулку. Материалы элементов данной конструкции имеют твердую структуру и низкий коэффициент теплового расширения для минимизации тепловых воздействий. ОС собирается с применением точечной лазерной сварки. В процессе сварки происходит сначала плавление локализованных областей соединяемых компонентов, а потом повторное застывание соединенного материала. Во время процесса затвердевания наблюдается деформация сжатия, которая и вызывает PWS. Процесс затвердевания-сжатия имеет нелинейную характеристику, что усложняет анализ PWS. Величина его зависит от многих факторов, таких как напряжение сварки, геометрические параметры спаиваемых областей и состояние материалов [4]. Для типично применяемого в магистральных волоконно-

оптических линиях связи одномодового волокна при сдвиге PWS в несколько микрометров наблюдается увеличение потерь вплоть до 50 % и выше.

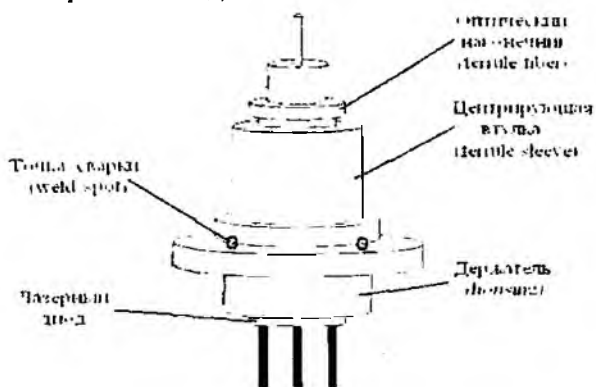


Рис. 1

PWS может быть описан как трехмерное изменение – параллельное перемещение в плоскости XO_0Y и вращательное вокруг оси Z в декартовой системе координат.

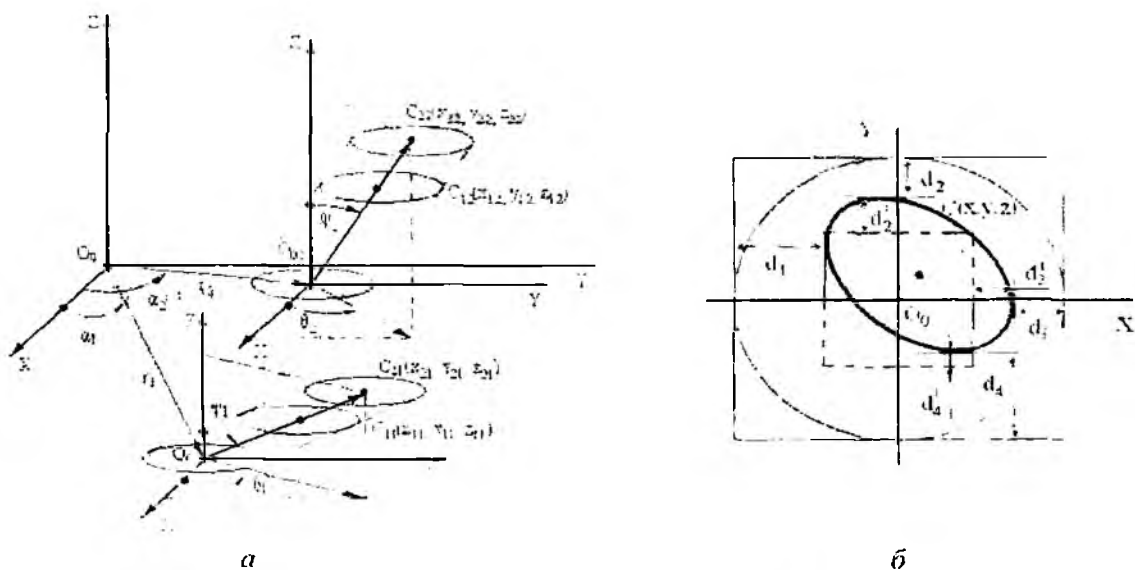


Рис. 2

PWS вызывает смещение центрирующей втулки относительно держателя. Определить PWS можно, определив разницу между векторами позиции втулки до сварки и после сварки (рис. 2, а).

Позицию центрирующей втулки можно описать вектором позиции $\overline{C_{1m}C_{2m}}$, где C_{nm} – центр поперечного сечения втулки. $n = 1$ и $n = 2$ – индексы, определяющие уровни сечений $z_1 = 1500$ мкм и $z_2 = 3000$ мкм, а $m = 1$ – момент измерения до сварки, $m = 2$ – после сварки.

Определить координаты центра сечения можно следующим образом. Измеряются кратчайшие расстояния от некоторой базовой поверхности, которая привязана к центру координат O_0 (т.е. для всех измерений находится на одинаковом расстоянии от центра O_0), до касательных к эллипсу, как минимум в двух противоположных точках для каждой из осей (рис. 2, б). Следует отметить, что базовая поверхность может находиться как вне эллипса, не пересекая его окружности, так и внутри его (как показано на рис. 2, б пунктиром). Для обеспечения необходимой точности определения координат центров измеряются 12 значений расстояний d_j (от d_1 до d_{12}) через каждые 30° . Тогда три пары x_j и y_j рассчитываются по формулам

$$x_j = \frac{(d_j - d_{j+6})}{2}, \quad (1)$$

$$y_j = \frac{(d_{j+3} - d_{j+9})}{2}, \quad (2)$$

где $j = 1..3$ и усредняются.

Вектор позиции втулки до и после сварки можно записать в виде

$$\overline{C_{11}C_{21}} = (\bar{x}_{21} - \bar{x}_{11})\hat{i} + (\bar{y}_{21} - \bar{y}_{11})\hat{j} + (\bar{z}_{21} - \bar{z}_{11})\hat{k}, \quad (3)$$

$$\overline{C_{12}C_{22}} = (\bar{x}_{22} - \bar{x}_{12})\hat{i} + (\bar{y}_{22} - \bar{y}_{12})\hat{j} + (\bar{z}_{22} - \bar{z}_{12})\hat{k}. \quad (4)$$

где $\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$ – единичные вектора координатных осей X, Y и Z соответственно.

Далее позиция втулки может быть описана в полярных координатах через величины поперечного сдвига r , угла смещения α , угла поворота θ и угла наклона ψ , которые определяются по формулам

$$r_m = \sqrt{(d\bar{x})^2 + (d\bar{y})^2}, \quad (5)$$

$$\alpha_m = \text{tg}^{-1} \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right), \quad (6)$$

$$\psi_m = \text{tg}^{-1} \left(\frac{r}{d\bar{z}} \right), \quad (7)$$

$$\theta_m = \text{tg}^{-1} \left(\frac{d\bar{y}}{d\bar{z}} \right). \quad (8)$$

Разница векторов позиции втулки до и после сварки определяет величину PWS, поэтому после математических преобразований получили четыре параметра, описывающие механизм PWS.

$$|\Delta \vec{r}| = \vec{r}_1 - \vec{r}_2 = \sqrt{(\bar{x}_{02} - \bar{x}_{01})^2 + (\bar{y}_{02} - \bar{y}_{01})^2}, \quad (9)$$

$$\beta = \text{tg}^{-1} \left(\frac{\bar{y}_{02} - \bar{y}_{01}}{\bar{x}_{02} - \bar{x}_{01}} \right). \quad (10)$$

$$\Delta \theta = \theta_2 - \theta_1 = \text{tg}^{-1} \left(\frac{\bar{y}_{22} - \bar{y}_{12}}{\bar{x}_{22} - \bar{x}_{12}} \right) - \text{tg}^{-1} \left(\frac{\bar{y}_{12} - \bar{y}_{11}}{\bar{x}_{12} - \bar{x}_{11}} \right), \quad (11)$$

$$\Delta \psi = \text{tg}^{-1} \left(\frac{\sqrt{(\bar{x}_{02} - \bar{x}_{01})^2 + (\bar{y}_{02} - \bar{y}_{01})^2}}{\bar{z}_2 - \bar{z}_1} \right), \quad (12)$$

где β – угол смещения вектора направления сдвига \vec{r} .

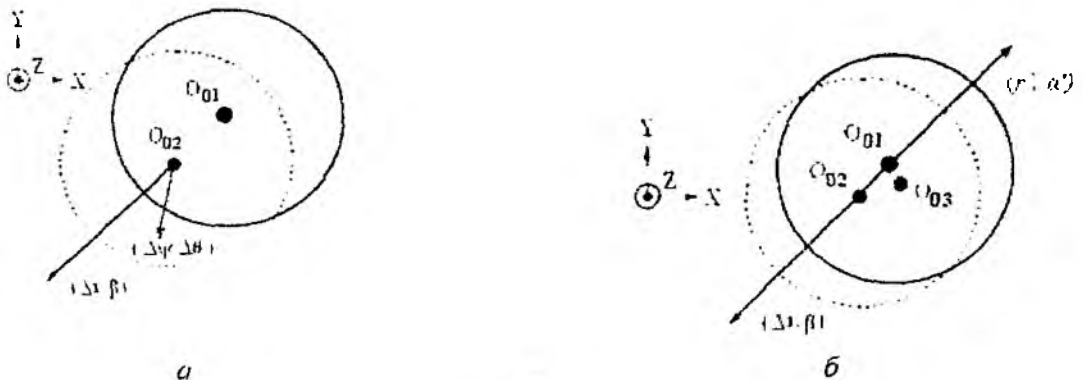


Рис. 3

Далее PWS можно определить двумя суммарными векторами: поперечного смещения вдоль координатной плоскости XO_0Y ($\Delta r, \beta$) и угла смещения относительно оси Z ($\Delta\psi, \Delta\theta$), как показано на рис. 3, а.

В ходе эксперимента установлено, что вектор смещения вдоль координатной плоскости XO_0Y ($\Delta r, \beta$) всегда существенно больше по модулю вектора наклона относительно оси Z ($\Delta\psi, \Delta\theta$), что позволяет определить вектор смещения ($\Delta r, \beta$) как доминирующий фактор в процессе PWS.

PWS может быть исправлен путем нанесения единичной точки сварки, что приведет к возникновению повторного PWS эффекта – корректирующего сдвига, направление которого будет противоположным направлению PWS.

Исходя из этих соображений, можно определить четыре параметра корректирующего PWS:

$$r' = -|\Delta\vec{r}|, \quad (13)$$

$$\alpha' = \beta + 180^\circ, \quad (14)$$

$$\psi' = -\Delta\psi, \quad (15)$$

$$\theta' = \Delta\theta + 180^\circ, \quad (16)$$

где $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1, \beta = \arccos[\vec{r}_2(\alpha_2) - \vec{r}_1(\alpha_1)], \Delta\theta = \theta_2 - \theta_1, \Delta\psi = \psi_2 - \psi_1$.

Корректирующие поперечный сдвиг r' и угол смещения α' – доминирующие механизмы процесса исправления PWS, поэтому целесообразно ставить корректирующую точку сварки в направлении вектора r', α' , которое противоположно направлению $\Delta r, \beta$. На рис. 3, б представлена схема направлений PWS и корректирующего сдвига, где O_{01}, O_{02} и O_{03} – центр втулки перед сваркой, после сварки, и после исправления PWS, соответственно.

Результаты экспериментальных исследований

На рис. 4 представлена схема рабочего места для проведения эксперимента.

Изучив преимущества каждого из применяемых на сегодняшний день методов позиционирования ОБ, выбран метод, реализуемый LID-системой, который обеспечит необходимое качество юстировки [5]. Метод очень прост, эффективен и не требует применения сложных высокочувствительных оптических систем.

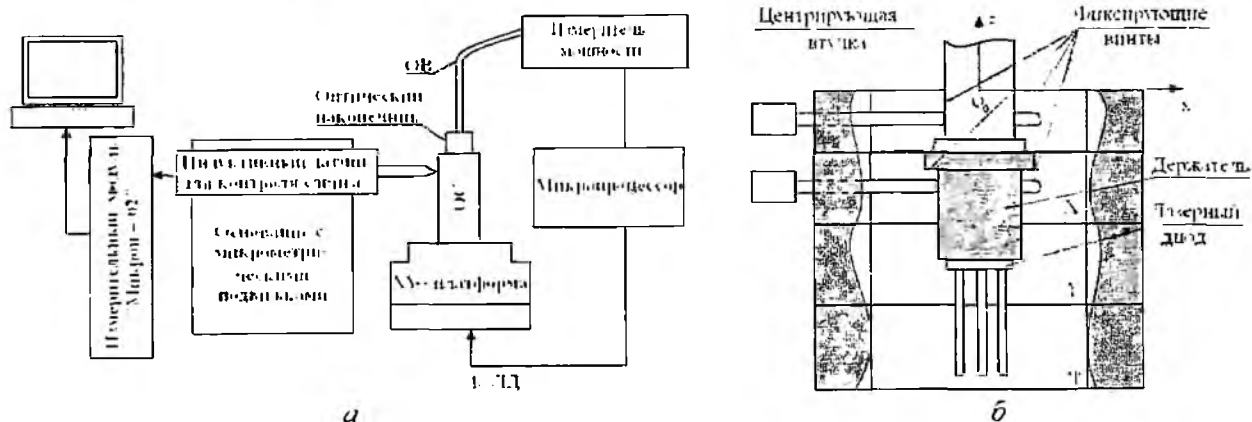


Рис. 4

ОС устанавливается на подвижную платформу ХУф. Верхняя ступень позволяет неподвижно закрепить центрирующую втулку относительно ЛД, который перемещается вдоль оси X , оси Y и вокруг оси Z управляемыми ступенями X, Y и ϕ . К ЛД подводится управляющий ток, регулируемый микропроцессором. Перемещая ХУф платформу, при неподвижной центрирующей втулке с закрепленным в ней оптическим наконечником, достигается максимум выходящей оптической мощности, которая определяется с помощью измерителя мощности и микропроцессора. Это свидетельствует о максимально точном совмещении.

При помощи индуктивного измерителя перемещений «Микрон-02» определяются координаты центров сечений, что дает возможность определить позицию втулки до сварки. Проводится соединение точечной лазерной сваркой держателя и центрирующей втулки специальным сварочным аппаратом, имеющим трехлучевой режим и обеспечивающий максимальную симметрию лучей (рис. 5. а). Центрирующая втулка освобождается из фиксирующих зажимов.

Определяется позиция втулки после сварки и по формулам (9) – (16) рассчитываются параметры искажающего и корректирующего PWS.

Далее проводится процедура коррекции наложением единичного пятна сварки. Определяется позиция втулки после коррекции.

Во время проведения эксперимента были зафиксированы значения проходящей оптической мощности до, после сварки, после коррекции и посчитаны коэффициенты прохождения оптической мощности для всех случаев (табл. 1).

По полученным данным построены диаграммы, иллюстрирующие изменение коэффициента прохождения оптической мощности после сварки и коррекции для всех ОС (рис. 5, б).

На диаграмме видно, что коэффициент прохождения оптической мощности через ОС после сварки составляет 68 – 95 %, после коррекции – приблизительно 77 – 97 %. Увеличение эффективности соединения лазера и ОБ после коррекции составляет от 2 до 16 %.

№ модуля	Коэффициент прохождения мощности после сварки, $K_{пс}$. %	Коэффициент прохождения мощности после коррекции, $K_{пк}$. %	Процент увеличения коэффициента прохождения мощности, ΔK . %
1	79,39	89,12	9,73
2	68,29	80,57	12,28
3	85,09	89,46	4,37
4	94,74	96,45	1,71
5	91,65	93,73	2,08
6	71,15	78,13	6,98
7	72,17	81,35	9,18
8	67,78	83,64	15,69

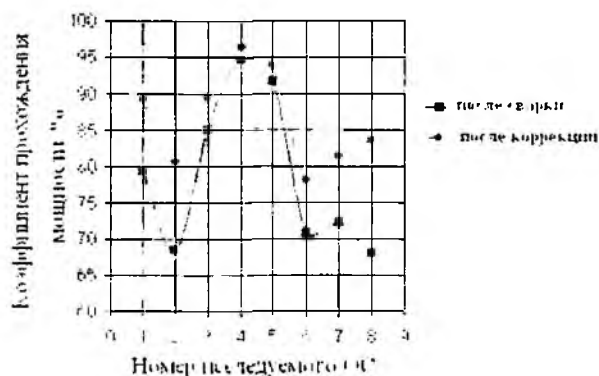
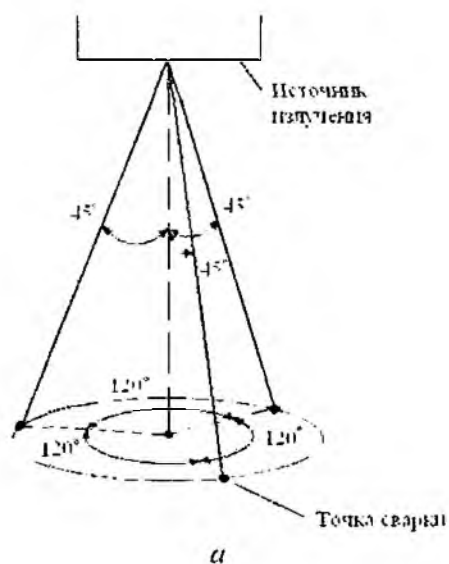


Рис. 4

Выводы

Разработана методика контроля позиционирования ОС при изготовлении ПОМ, которая учитывает влияние PWS и корректирует его. Детально проанализирован эффект PWS. Предложен способ коррекции сдвига, определены доминирующие механизмы процессов PWS и его коррекции. Разработанная методика обеспечивает эффективность ввода излучения в ОБ на уровне 77 – 97%.

Предложенный способ коррекции PWS предполагает задание только направления корректирующего сдвига. В дальнейшем предполагается развить данную методику с целью предварительного определения величины корректирующего сдвига.

Список литературы: 1. М. К. Самохвалов. Элементы и устройства оптоэлектроники: Учеб. пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2003. 2. P. Mueller and B. Valk. Automated fiber attachment for 980 nm pump modules // Proc. 40th ECTC. 2000. P. 5-9. 3. C.M. Chang, W. H. Cheng, M. T. Sheen, Y. T. Tseng. An optimum approach for reduction of fiber alignment of fiber-solder-ferrule joints in laser module packaging // J. Lightwave Technology. Febr. 2004. p.589-594. 4. J. H. Kuang, M. T. Sheen, S. C. Wang, G. L. Wang, and W. H. Cheng. Post-weld-shift in dual-in-line laser package // IEEE Trans. Adv. Packag., Feb. 2001. № 1. P. 1-85. 5. А.Н. Туркин, Д.Д. Щербаткин. Высококачественная сварка оптических волокон: методы и оборудование // LIGHTWAVE russian edition. 2004. №1. P.258-273.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 08.07.2008