

области посадки, что коррелирует с видимой площадью дефектов на фото припоя.

На рисунке 2 представлены профили распределения сечения теплового потока в мощных светодиодах Cree XPG и Cree XPE с разной площадью кристалла. Видно, что на начальном участке, где растекание тепла определяется размерами кристалла светодиода активная площадь теплового потока коррелирует с геометрической площадью кристалла для обоих образцов. На участках, близких к внешнему корпусу приборов, уровни сечения тепловых потоков обоих образцов выравниваются, из-за одинаковой конструкции и тепловых параметров образцов.

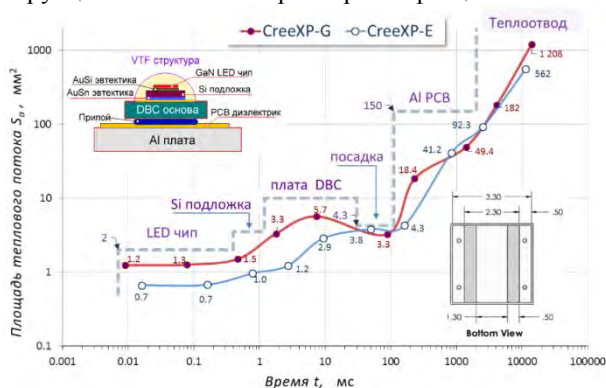


Рисунок 2 – Профили распределения сечения теплового потока в шкале времени для мощных светодиодов компании Cree с разной площадью кристалла S_{ch} для Cree XPG – 2 мм² и Cree XPE – 1 мм²

УДК 621.78.062.2

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ГАЗОВОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ

Виленчиц Б.Б., Попов В.К.

*Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко
Белорусского государственного университета
Минск, Республика Беларусь*

Углеродный потенциал процесса газовой цементации равновесия обычно регулируется кислородными датчиками. Для коррекции сигнала этого датчика, его показания сравниваются с фольговой пробой. Для этого науглероживается тонкая железная фольга и в ней измеряется содержание углерода, которое должно быть равно углеродному потенциалу, измеренному датчиком кислорода.

Предлагаемый метод для экспресс-определения содержания углерода в фольге основан на гармоническом анализе вихревых токов [1] и реализован в небольшом автоматизированном устройстве, которое является надежным и простым в использовании. С помощью этого устройства содержание углерода в тонкой железной фольге может быть получено с точностью лучше, чем 0,03 % и за время менее 2 секунд в

1. Васьков, О.С. Диагностика технологических характеристик мощных транзисторов с помощью релаксационного импеданс-спектрометра тепловых процессов / О.С. Васьков [и др.] // Изв. вузов. Материалы электрон. техники. – 2014, № 1. – С. 47–52.
2. Бумай, Ю.А. Релаксационный импеданс-спектрометр тепловых процессов / Ю.А. Бумай [и др.] // Электроника инфо. – 2010, № 3. – С. 58–59.
3. Stout, R. P. Accuracy and time resolution in thermal transient finite element analysis / R.P. Stout, D.T. Billings // 2002-Int-ANSYS-Conf-91. – <http://ansys.com/staticassets/ANSYS/>.
4. Vaskou, A.S. Thermal characterization of light-emitting sources of Cree types / A.S. Vaskou [et al.] // Proc. 12th Int. Conf. on Laser and Fiber-Optical Networks Modeling, LFNМ*2013. Sudak, 2013. P. 79–81.
5. Zakgeim, A.L. Comparative Analysis of the Thermal Resistance Profiles of Power Light-Emitting Diodes Cree and Rebel Types / A.L. Zakgeim, A.E. Chernyakov, A.S. Vaskou, V.K. Kononenko, V.S. Niss // EuroSimE 2013: 14th International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems. – 2013. – №01. – P. 1/7-7/7.

диапазоне от 0 - 1,2 % массового содержания углерода. Это эффективный инструмент для быстрого контроля качества печных цементационных атмосфер и коррекции показаний кислородного зонда.

Для качественной цементации необходимо, контролировать концентрацию углерода на поверхности детали. Это косвенно делается с помощью кислородных зондов. На основе измеренного парциального давления кислорода и химических условий равновесия цементационной атмосферы вычисляется углеродный потенциал. Поскольку цементация осуществляется при высокой температуре (900 - 950 °С) в агрессивной и пыльной среде, сигнал датчика кислорода дрейфует. Для корректировки характеристик датчика используют тонкую (50 мкм) железную фольгу, которую размещают на ко-

роткий промежуток времени, 10 - 30 мин, в печную атмосферу, чтобы углерод диффундировал в фольгу по достижении равновесного состояния со средой. Равновесная концентрация углерода в фольге равна углеродному потенциалу, рассчитанному по парциальному давлению кислорода в атмосфере [2]. В лабораторных условиях концентрация углерода в железной фольге измеряется гравиметрическим методом или измерением содержания углекислого газа при ее полном сжигании. Первый метод должен быть сделан очень тщательно, чтобы исключить влияние обработки образца при измерении веса. Отпечатков пальцев, пыль, копыт следует избегать. Для второго метода эти факторы сказываются на результате не так сильно, а основными недостатками являются большая стоимость и необходимость в квалифицированном персонале. Настоящий метод измерения лишен указанных недостатков.

Для неразрушающего определения характеристик материалов электромагнитное тестирование было успешно использовано во многих приложениях [2]. Измерительный эффект основан на взаимосвязи между состоянием материала и его электрических и магнитных свойствах. При науглероживании фольги ее структуру определяют содержание углерода и условия охлаждения. Поскольку обычно скорость охлаждения небольшая, то структуру фольги определяют феррит, перлит и цементит в зависимости от содержания углерода. Электромагнитные свойства фольги зависят от содержания в ней углерода. Эти свойства могут быть измерены электромагнитными методами. Для количественного определения магнитных свойств используется гармонический анализ электромагнитного поля вихревых токов. Информация о магнитных свойствах ферромагнитного материала содержится в высших гармониках сигнала. Эти гармоники зависят от формы магнитного гистерезиса, которая связана со структурой материала. Не существует фундаментальной теории, описывающей связь между магнитными свойствами и микроструктурой ферромагнитных материалов, и в каждом конкретном случае следует экспериментально доказывать значимость такой корреляции. Типичная схема устройства содержит электромагнитную катушку, создающую переменное электромагнитное поле, которое взаимодействует с образцом ферромагнитной фольги и возбуждает в нем вихревые токи, зависящие от характеристик материала

фольги. Эти токи создают вторичное электромагнитное поле, которое противоположно первичному.

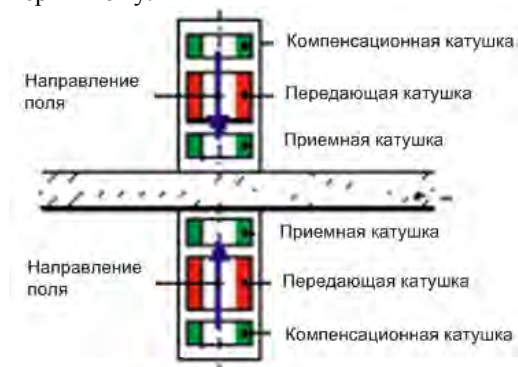


Рисунок 1 – Блок-схема устройства

Магнитные свойства материала описываются характерной кривой гистерезиса. Эта передаточная функция генерирует более высокие гармоники исходного синусоидального сигнала. Преобразованный таким образом сигнал регистрируется приемной катушкой и разлагается на спектральные составляющие с помощью Фурье-преобразования. Низшая частота равна частоте исходного сигнала. Более высокие гармоники вызваны нелинейностью характеристики кривой гистерезиса. На рисунке 1 показана блок-схема устройства. На каждой стороне фольги находятся по три катушки. Рядом с катушками передачи и приема расположены компенсационные катушки. При этой конфигурации достигается оптимальное для исследования гомогенное распределение поля в фольге и достигается минимальная чувствительность к возмущающим воздействиям, таким как изменение расстояния, краевой эффект или влияние наклона плоскости фольги. Полученное распределение поля и расположение катушек показаны на рисунке 2.



Рисунок 2 – Распределение магнитного поля

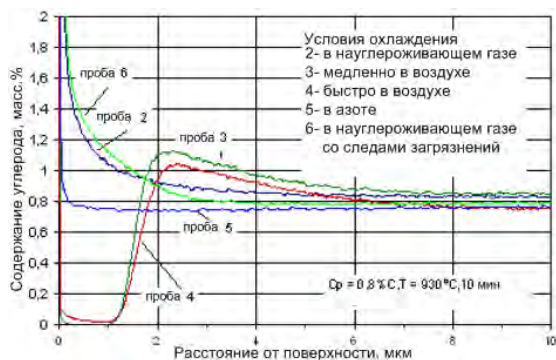


Рисунок 3 – Профили концентрации углерода при разных условиях охлаждения фольги

Для количественного определения содержания углерода в фольге, образцы фольги исследовались на содержание углерода лабораторным методом измерения. При этом важно учесть возможные ошибки, возникающие при способе извлечения фольговых образцов из печи. Некоторые возможные ошибки демонстрируются на рисунке 3.

Когда образцы фольги охлаждаются на воздухе, происходит окисление и изменение поверхностной концентрации углерода. Охлаждение в цементирующем газе имеет эффект дальнейшей цементации и приводит к более высокому содержанию углерода. К тому же зачастую не достигается однородная концентрация углерода по всей толщине фольги. Так что лучший способ извлечения фольги - выдержать ее достаточно долго в атмосфере цементации и медленно охладить в инертном газе.

Предлагаемым методом были обработаны 70 образцов фольги с параллельным определением содержания углерода лабораторным методом. Результаты статистической обработки

представлены на рисунке 4. Коэффициент корреляции оставляет 97,5% со стандартным отклонением 0,06 % С.

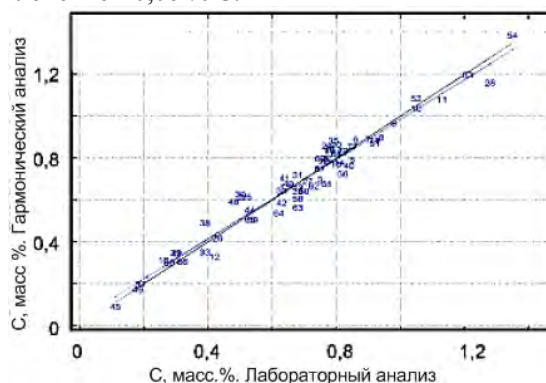


Рисунок 4 – Экспериментальная оценка точности и достоверности результатов измерений

При строгом соблюдении рекомендаций по извлечению фольги из печной атмосферы стандартное отклонение возможно еще снизить. Экспериментально определенная точность метода измерения достаточно высока для контроля углеродного потенциала в процессах цементации и может быть увеличена в дальнейшем.

1. Rose, E.; Mayr, P.: Analyse von PVD/CVD-Verschleißschutzschichten mit der Glimmentladungsspektroskopie (GDOS) // HTM – 1986- № 3, S.127.
2. Klümper-Westkam p.H.; Mayr, P.; Reimche, W.; Feiste, K.L.; Bernhard, M.; Bach, F.-W.: Bestimmung des Kohlenstoffgehaltes in Aufkohlungsfolien // HTM - 2002- № 5, S. 364-372.

УДК 006.91.034:537.811 (045)(476)

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЭТАЛОН ЕДИНИЦЫ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НЭ РБ 26-15

Волынец А.С., Галыго А.В.

Республиканское унитарное предприятие «Белорусский государственный институт метрологии»
Минск, Республика Беларусь

Введение

Плотность потока энергии (далее – ППЭ) — физическая величина, численно равная потоку энергии через малую площадку единичной площади, перпендикулярную направлению потока. Средства измерений ППЭ применяются в промышленности, экологии, медицине, обороне, научных исследованиях, транспорте и связи. В Республике Беларусь измерения ППЭ в первую очередь проводятся центрами гигиены и эпиде-

миологии при осуществлении контроля уровня электромагнитного поля на соответствие требованиям стандартов системы безопасности труда, санитарных правил и норм, устанавливающих предельно допустимые уровни воздействия электромагнитных излучений на людей. Кроме того средства измерений ППЭ находят применение при проведении мониторинга уровней электромагнитных полей на местности и осуществлении контроля за использованием радиочастот-