

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СТАБИЛЬНОСТИ СВЧ НАГРЕВА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

Максимов С.Е.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Борисенко В.Е. – доктор. физ.-мат. наук, профессор

Предложена методика измерения стабильности мощности СВЧ магнетрона, основанная на измерении температуры конденсированной среды, что важно для контроля активируемого путем СВЧ нагрева химического синтеза материалов, в том числе наноструктурированных. С применением методики установлено, что режим максимальной мощности магнетрона бытовой СВЧ печи характеризуется в 2-2,5 раза большим значением среднеквадратичного отклонения, чем режимы 50% и 80% мощности, что ограничивает его применения для практического синтеза материалов. Средняя мощность магнетрона осциллирует в зависимости от времени работы, что может быть связано с особенностями бытовых СВЧ печей и требует учета при синтезе материалов путем СВЧ нагрева с частотой электромагнитного излучения 2,45 ГГц.

Использование электромагнитного излучения СВЧ, или микроволнового, диапазона, лежащего в области 300 МГц – 300 ГГц, для ускорения протекания химических реакций путем нагрева реакционной смеси является хорошо развитой и широко применяемой практикой. Последнее время повышается интерес для синтеза наноструктурированных материалов путем СВЧ нагрева прекурсоров, например для синтеза графитоподобного нитрида углерода [1-2].

Изготовление специализированных СВЧ нагревателей является достаточно дорогой и сложной операцией, поэтому исследователи часто используют обычные СВЧ печи в качестве мощного источника (до 1 кВт) СВЧ излучения с частотой 2,45 ГГц. К сожалению, разные производители используют различные методики для тестирования режимов работы магнетронов своих СВЧ печей, что затрудняет фактическую оценку мощности магнетрона в целом магнетрона синтезируемому материалу мощность. Целью данной работы было создание методики оценки стабильности нагрева конденсированных сред СВЧ излучением магнетрона бытовой СВЧ печи.

Так как выбор частоты 2,45 ГГц излучения в бытовых СВЧ печах обусловлен активным взаимодействием дипольных молекул воды с электрической компонентой падающего электромагнитного излучения, то в качестве конденсированной среды в качестве тестового объекта для нагрева была выбрана вода, обладающая высокой теплоемкостью, малым давлением паров при температуре ниже 50 °С, что позволило не учитывать массообменные процессы в системе за их малостью. Исследовали среднюю мощность магнетрона в режимах 100%, 80% и 50% мощности. Время нагрева составляло 1 мин, после чего СВЧ печь остывала около 5 мин. Нагрев повторяли десятикратно для получения статистически значимых результатов. Также проводили исследование средней мощности магнетрона в режиме 80% мощности на различных временных интервалах с целью оценки стабильности магнетрона во времени.

Средняя мощность магнетрона по результатам 10 измерений составляет 523 Вт, 399 Вт и 225 Вт для заданных режимов мощности в «100%», «80%» и «50%» соответственно. Графически они представлены на рисунке 1, где штриховой линией обозначены средняя мощность для указанного режима работы.

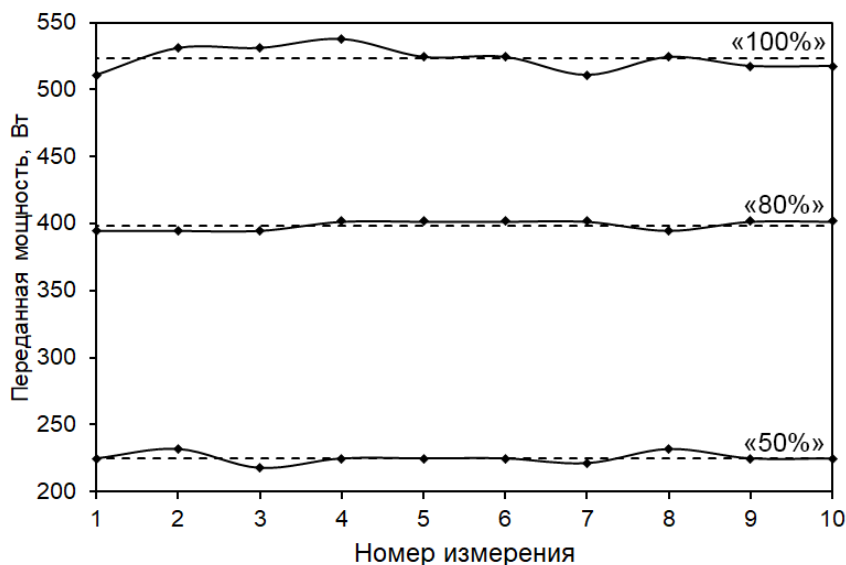


Рисунок 1 – Зависимость средней мощности магнетрона при различном режиме работы

Фактически, при времени нагрева 1 мин средняя мощность магнетрона оказывается ниже, чем указывается в программе управления, и составляет 76% для режима «80%» и 43% при заявляемых «50%». Стандартное отклонение измеренной средней мощности составляет 8,5 Вт, 3,3 Вт и 3,9 Вт для режимов «100%», «80%» и «50%» соответственно. Таким образом, предпочтительнее работать при пониженной мощности магнетрона, т.к. в этом случае стабильность средней мощности выше.

Синтез материалов требует большей длительности, чем 1 мин, а потому применение данной методики актуально и для оценки зависимости мощности магнетрона от времени. Непосредственное измерение мощности затруднительно без модификации системы питания магнетрона, но возможно модифицировать методику, основанную на контроле температуры конденсированной среды для такого исследования. Для этого мы провели нагревание тестового тела при выбранном режиме мощности «80%» при временах выдержки 60 – 180 с с шагом 10 с. Графически результаты представлены на рисунке 2.

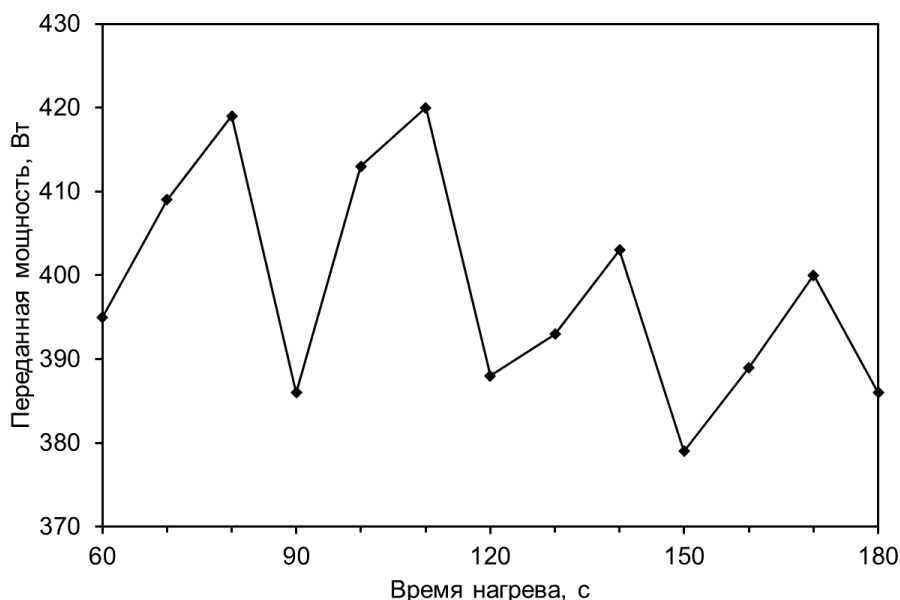


Рисунок 2 – Средняя мощность магнетрона для различных времен нагрева тестовой конденсированной среды

Хорошо заметно, что средняя мощность магнетрона при различном времени нагрева тестовой конденсированной среды изменяется в диапазоне 379 – 420 Вт. Такое поведение магнетрона воспроизводится, что говорит об особенностях работы магнетрона. В диапазоне времен нагрева 60 – 80 с средняя мощность возрастает, а затем резко снижается с дальнейшим повторением возрастания средней мощности и ее падением. Период таких колебаний составляет 30 с. Максимальная средняя мощность составляет 420 Вт в течение первых 2 мин, затем наблюдаются максимумы на мощности 400 Вт. Мы полагаем, что с увеличением времени нагрева будет наблюдаться дальнейшее снижение максимальной средней мощности с сохранением периодического характера изменения последней.

Таким образом, была разработана методика оценки средней мощности магнетрона бытовой СВЧ печи путем измерения температуры тестовой конденсированной среды. Изменение температуры в узком интервале (менее 20 °С) позволяет рассчитать тепловую мощность магнетрона, которая фактически является эквивалентом мощности электромагнитного излучения магнетрона за вычетом потерь на нагрев внутри камеры СВЧ печи. Данная методика позволяет исследовать фактическую мощность магнетрона при различных заданных режимах мощности, а также исследовать зависимость мощности магнетрона от времени нагрева. Получение численного значения средней мощности необходимо при контролируемом химическом синтезе материалов, в том числе наноструктурированных, активируемых СВЧ нагревом.

Список использованных источников:

1. *Microwave-assisted molten-salt rapid synthesis of isotype triazine/heptazine based g-C₃N₄ heterojunctions with highly enhanced photocatalytic hydrogen evolution performance* / H. Liu [et al.] // *Applied Catalysis B: Environmental*, V.203, 2017. – P. 300–313.
2. *In-situ synthesis of AgNbO₃/g-C₃N₄ photocatalyst via microwave heating method for efficiently photocatalytic H₂ generation* / P. Chen [et al.] // *Journal of Colloid and Interface Science*, V. 534, 2019. P. 163–171.