

УДК 538.945

В.В.Муравьев (4 курс, каф. ЭИКиК), В.Э.Кириакиди (5 курс, каф. ЭИКиК),
Н.Ю.Егоров (асп., каф. ЭИКиК), Ю.А.Полонский, д.т.н., проф.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ СИНТЕЗА ИТТРИЕВОГО ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СВЕРХПРОВОДНИКА

Электромагнитные поля сверхвысоких частот (СВЧ), охватывающие ту часть электромагнитного спектра, которая простирается от 0,3 ГГц (длина волны 100 см) до 300 ГГц (длина волны 1 мм), в настоящее время все шире используется в технологических процессах в различных областях человеческой деятельности – от энергетики (например, термоядерные реакторы с магнитным удержанием плазмы) до бытовой техники (например, микроволновые печи). Однако применительно к высокотемпературной (более 900–1000°С) термообработке (обжиг) таких неорганических материалов, как высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП), СВЧ-обжиг применяется крайне ограниченно [1,2], и по существу этот процесс еще не вышел из стадии начальных экспериментов. Вместе с тем применение СВЧ-обжига обеспечивает высокий КПД преобразования СВЧ энергии в тепловую, позволяет осуществить практически безынерционный нагрев по всему объему, а не с поверхности обжигаемого изделия (как при традиционных способах нагрева за счет теплопроводности, конвекции и лучеиспускания), дает возможность осуществлять избирательный нагрев, обеспечивает различную скорость нагрева. С учетом сказанного исследования, направленные на использование СВЧ электромагнитной энергии при обжиге ВТСП и других керамических сверхпроводников, представляются актуальными и перспективными.

Процессы, связанные с нагреванием материала под действием СВЧ энергии, основаны на поглощении мощности облучаемой волны. Эффективность поглощения зависит как от параметров электромагнитного поля (напряженность, частота), так и от электрофизических свойств материала – для радиопрозрачного диэлектрика, имеющего низкие значения относительной диэлектрической проницаемости (ϵ) и тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$), процесс нагрева будет затруднен, для проводника (металл) нагрев будет происходить в пределах тонкого скин-слоя. Наиболее эффективно будут нагреваться такие материалы, как несовершенные диэлектрики и высокоомные полупроводники. Согласно [3], потери мощности (P) в несовершенном диэлектрике равны $P = 2\pi f \epsilon_0 \epsilon \text{tg}\delta \int_V |E|^2 dV$, где f – частота; ϵ_0 – электрическая постоянная; V – объем; E – амплитудное значение напряженности электрического поля.

Исходя из этого, с целью качественной оценки эффективности СВЧ-нагрева ВТСП на первом этапе исследований была определена температурная зависимость удельного электрического сопротивления (ρ) иттриевого ВТСП, изготовленного традиционным методом твердофазового спекания в электрической печи сопротивления [2] и имевшего состав $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$. Определение ρ было произведено в широком интервале температур (T) – от температуры спекания (1233 К) до температуры испарения жидкого азота (77,4 К). Исследование проводилось в 2 этапа: в диапазонах температур 77,4÷300 К и 300÷1233 К с использованием методик измерений, приведенных в [4] и [5], соответственно.

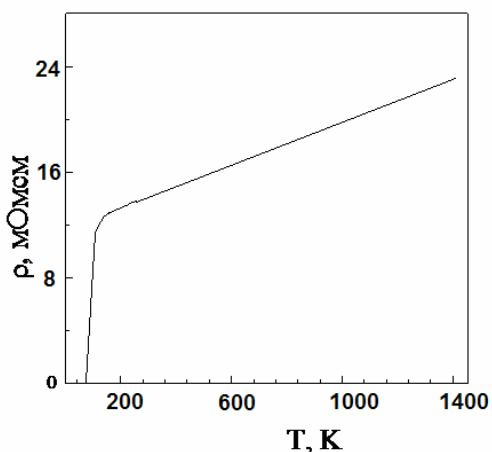


Рис. 1. Температурная зависимость удельного сопротивления иттриевой ВТСП керамики

Результаты измерений представлены на рис. 1. Из рисунка видно, что исследуемый Y–ВТСП в интервале температур до температуры спекания как по характеру зависимости $\rho(T)$, так и по значениям ρ относится к полупроводникам и, следовательно, будет эффективно нагреваться под действием СВЧ энергии.

СВЧ-обжиг ($f = 2,45$ ГГц) отформованных образцов, идентичных по составу и способу подготовки «твердофазовым образцам», производился совместно с Туркиным И.А. и Дедовец М.А., являющимися сотрудниками СПбГТИ (ТУ), по технологии, приведенной в [2]. В результате синтеза было получено 3 партии образцов, отличавшихся между собой временем синтеза и скоростью подъема температуры.

образцов, отличавшихся между собой временем синтеза и скоростью подъема температуры.

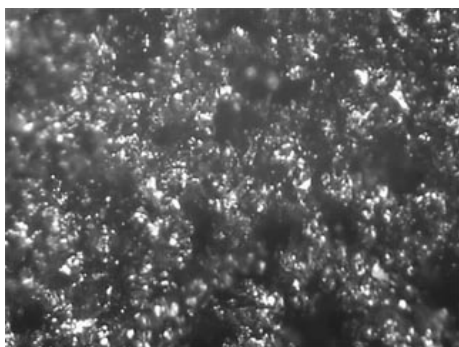


Рис. 2. Образец 1

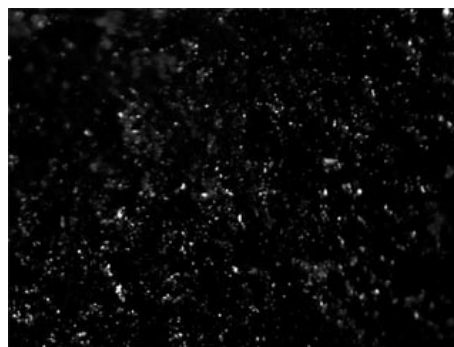


Рис. 3. Образец 2

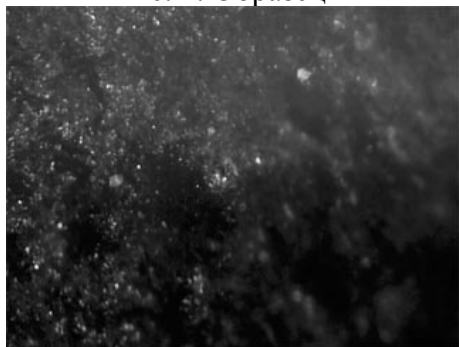


Рис. 4. Образец 3

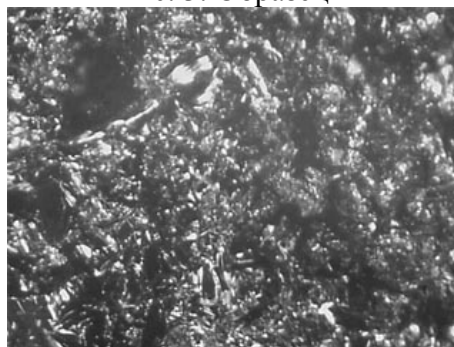


Рис. 5. Образец 4

Образец 1: Скорость подъема температуры $v = 20^\circ\text{C}/\text{мин}$. Время синтеза $\tau = 1$ ч.

Образец 2: Скорость подъема температуры $v = 30^\circ\text{C}/\text{мин}$. Время синтеза $\tau = 1$ ч.

Образец 3: Скорость подъема температуры $v = 40^\circ\text{C}/\text{мин}$. При 800°C наблюдается лавинообразный рост температуры.

Образец 4: Иттриевая ВТСП керамика, полученная “классическим” методом твердофазового синтеза.

Микрофотографии поверхности образцов (60-ти кратное увеличение) представлены на рис. 2–5. Образец 4 – эталонный, полученный “классическим” твердофазовым синтезом. Сопоставляя структуру его поверхности со структурой поверхности образцов 1–3, полученных с помощью микроволнового синтеза, можно отметить, что, во-первых, скорость подъема температуры при СВЧ-синтезе влияет на структуру образцов, и, во-вторых, визуально наиболее близкими являются поверхности 1-го и 4-го образцов. Это позволяет

предположить, что, оптимизируя скорость подъема температуры, а также время синтеза, можно будет выбрать оптимальные параметры СВЧ-обжига. Исследования в этом направлении будут продолжены.

ЛИТЕРАТУРА:

1. A.Cherradi, S.Marinel, G.Desgardin et al. Superconductor Science Technology. 1997. V. 10. P. 475 – 483.
2. Ю.А.Полонский, С.А.Суворов, В.Э.Гасумянц и др. Материалы Всероссийского электротехнического конгресса ВЭЛК-2005. 26-30.09.2005, Москва. М.: МЭИ, 2005. – С. 186 – 188.
3. Диденко А.Н., Зверев Б.В. СВЧ – энергетика. М.: Наука, 2000. – 264 с.
4. Егоров Н.Ю. Мосейчук А.Г. Материалы межвузовской научной конференции “XXX Юбилейная Неделя науки СПбГТУ”. 26.11 – 01.12.2001, Санкт – Петербург. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. С. 16 – 17.
5. С.С.Орданьян, Ю.А.Омельченко, Ю.А.Полонский и др. Труды V-ой международной конференции “Электротехнические материалы и компоненты”. 20 – 25.09.2004, Крым, Алушта. М.: МЭИ, 2004. – С. 58 – 60.