

Письма в редакцию

УДК 621.315

В. И. Часнык (г. Киев)

Высокое поглощение СВЧ-энергии на частотах 9,5–10,5 ГГц в системе с сильно вытянутыми зернами молибдена в матрице нитрида алюминия

Сообщается о высоком поглощении СВЧ-энергии, полученном в композите с матрицей нитрида алюминия и сильно вытянутыми зернами молибдена на частотах 9,5–10,5 ГГц, и о возможности использования таких композитов в качестве объемных внутривакуумных поглотителей для мощных микроволновых приборов.

***Ключевые слова:** поглощение СВЧ-энергии, вытянутые зерна, молибден, нитрид алюминия.*

В мощных электровакуумных приборах СВЧ-электроники актуальным является необходимость использования объемных поглотителей СВЧ-энергии с большим уровнем поглощения. Ранее сообщалось [1], что высокие (до 52 дБ/см) уровни коэффициента поглощения СВЧ-энергии были достигнуты в поглотителях из композита марок АН-35Ж и АН-45Ж на основе нитрида алюминия и включений частиц железа. Однако эти поглотители непригодны для работы в вакуумной части электровакуумных приборов и предназначены только для использования в качестве оконечных коаксиальных и волноводных нагрузок измерительных приборов. Обычно величина коэффициента поглощения СВЧ-энергии в композитах на основе нитрида алюминия и частиц молибдена составляет $(20-35) \pm 2$ дБ/см [1–3]. При этом в большинстве случаев зерна молибдена в спеченном композите близки по форме к шару или эллипсоиду с соотношением осей 1,0:(1,5–2,0).

В данной работе рассмотрена возможность увеличения поглощения СВЧ-энергии в системе AlN–Mo за счет изменения морфологии включений проводящей фазы молибдена.

Исследовали уровни поглощения СВЧ-энергии в композите AlN–Mo, состоящем из диэлектрических частиц нитрида алюминия (62 % (по массе)) и проводящих частиц молибдена (38 % (по массе)). При изготовлении свободным спеканием образцов поглотителя использовали порошок нитрида алюминия с удельной поверхностью $\sim 2,0$ м²/г и порошок молибдена, состоящий

из трех основных фракций: сферообразных частиц размерами 10–20 мкм, сростков и цепочек из частичек размером ~ 10 мкм и монолитных сростков мелких (1–5 мкм) частичек. В качестве активатора спекания использовали порошок оксида иттрия. Порошковые компакты прессовали и спекали в атмосфере сверхчистого азота под давлением 0,12 МПа при температуре 1850 °С.

Анализ микроструктур, полученных после спекания образцов исследуемого композита AlN–Mo, проводили с помощью электронной микроскопии. На отполированных поверхностях образцов композита с помощью сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения LEO/Zeiss 1560 проводили оценку геометрических параметров зерен металлической фазы (молибдена). Измерение затухания СВЧ-энергии композита проводили на кольцах поглотителя размерами $\varnothing 15,6 \times \varnothing 9,2 \times 2,2$ мм, размещенного в резонаторе замедляющей системы лампы бегущей волны, с помощью панорамного измерителя КСВН и ослаблений (Р2-61) в диапазоне частот 9,5–10,5 ГГц. Методика измерений затухания СВЧ-энергии подробно описана в [4].

На рис. 1 приведено изображение структуры композиционного материала AlN–Mo, полученное в растровом электронном микроскопе. Был проведен анализ распределения по размерам 810 зерен молибдена. Статистическая обработка результатов измерений зерен показала, что из 440 зерен, имеющих длину меньше 6 мкм, 242, 156 и 42 зерна имеют диаметры 2, 3 и 4 мкм соответственно. Распределение по длине и количественному составу для 370 зерен молибдена с длиной зерна от 6 до 96 мкм и диаметрами от 2 до 20 мкм приведено на рис. 2. Анализ формы и длины зерен молибдена (см. рис. 1 и 2) показывает, что в основном они представляют собой вытянутые включения, большая часть которых имеет форму близкую к цилиндру с отношением диаметра к длине 1,0:(3,5–5,0). При этом концы вытянутых зерен имеют закругленную форму. Кроме того, вытянутые зерна молибдена различной длины и диаметра не имеют преимущественной ориентации и распределены в объеме композита равномерно.

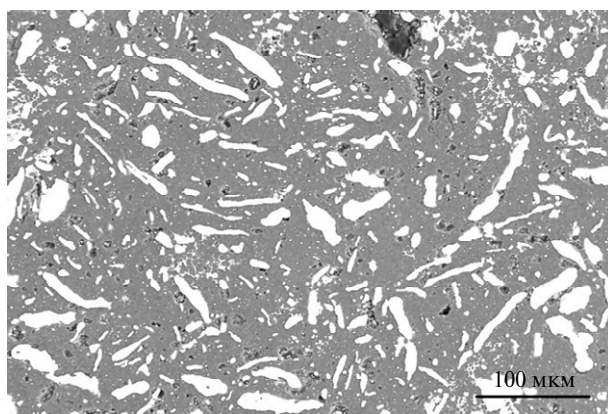


Рис. 1. Микроструктура композита AlN–Mo: светлые включения – зерна молибдена, темно-серый фон – матричная фаза нитрида алюминия.

Измерение поглощения образцов исследуемого композита AlN–Mo в диапазоне частот 9,5–10,5 ГГц показало, что коэффициент поглощения составляет 56 ± 2 дБ/см, что намного выше величины $(20–35) \pm 2$ дБ/см, достигнутой ранее [1–3]. Такое увеличение коэффициента поглощения – более чем на

20 дБ/см, обусловлено, скорее всего, большим удельным весом поверхности вытянутых включений молибдена по сравнению со структурой композита AlN–Mo того же состава, но с зернами молибдена, близкими по форме к шару или эллипсоиду с соотношением осей 1:(1,5–2,0). Поскольку поглощение электромагнитной энергии происходит в основном в тонком наружном слое (скин-слое) проводящих включений, подобная организация структуры может привести к высоким поглощающим свойствам полученного композита. Следует подчеркнуть, что увеличение коэффициента поглощения более чем на 20 дБ/см в энергетических величинах соответствует ослаблению интенсивности СВЧ-волны при прохождении 1 см композита AlN–Mo более чем в 100 раз.

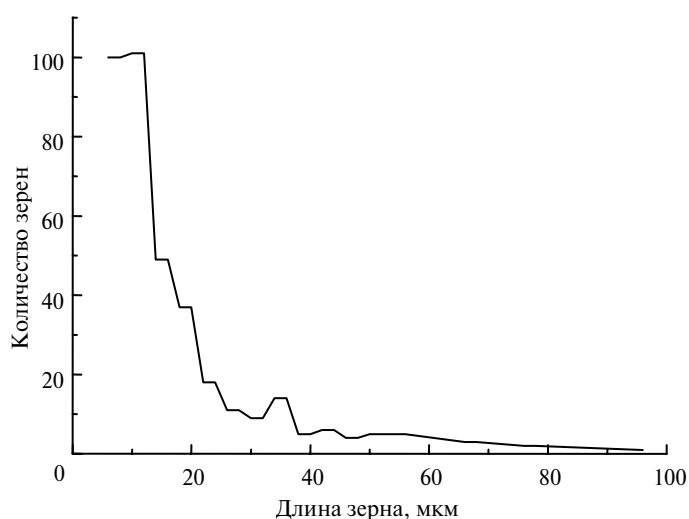


Рис. 2. Распределение зерен молибдена по длине в композите AlN–Mo.

Полученное в композите AlN–Mo с сильно вытянутыми зернами Mo в матрице AlN высокое поглощение СВЧ-энергии (56 ± 2 дБ/см) на частотах 9,5–10,5 ГГц позволяет использовать эти композиты в качестве объемных внутривакуумных поглотителей при разработке мощных СВЧ-приборов.

Автор выражает признательность сотрудникам ИСМ НАН Украины Н. В. Свердун и И. П. Фесенко за помощь в изготовлении образцов композита.

Повідомляється про високе поглинання НВЧ-енергії, яке досягнуто у композиті з матрицею нітриду алюмінію і сильно витягнутими зернами молибдену на частотах 9,5–10,5 ГГц, та про можливість використання таких композитів як об'ємних внутривакуумних поглиначів для потужних мікрохвильових приладів.

Ключові слова: поглинання НВЧ-енергії, витягнуті зерна, молибден, нітрид алюмінію.

A high absorption of microwave energy in a composite with an aluminum nitride matrix and strongly elongated molybdenum grains at frequencies of 9.5–10.5 GHz has been discussed. A possibility to use such composites as bulk absorbers inside the vacuum for high-power microwave devices has been considered.

Keywords: absorption of microwave energy, elongated grains, molybdenum, aluminum nitride.

1. Бухарин Е. Н., Власов А. С., Алексеев А. А. Новые высокотеплопроводные объемные СВЧ поглотители // Электронная техника. Сер. Материалы. – 1988. – Вып. 6 (235). – С. 66–70.

2. *Ирюшкина Л. Ф., Воробьева Н. И.* Материалы для внутривакуумных поглотителей СВЧ-энергии // *Обзоры по электронной технике. Сер. 6. Материалы.* – М.: ЦНИИ “Электроника”, 1988. – 41 с.
3. *Часнык В. И.* Влияние структурной иерархии частиц проводящей фазы в материале объемного поглотителя на процесс поглощения СВЧ-энергии // *Электроника и связь.* – 2011. – № 1 (60). – С. 43–47.
4. *Часнык В. И., Фесенко И. П.* Объемный поглотитель СВЧ-энергии на основе нитрида алюминия и карбида кремния // *Техника и приборы СВЧ.* – 2008. – № 2. – С. 45–47.

Государственное предприятие НИИ “Орион”

Поступила 11.11.11