

УДК 621.793.6

МЕТАЛЛИЗАЦИЯ МЕДЬЮ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОДЛОЖЕК ИЗ AlN

Д.С. Шихов

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Д.В. Сиделёв

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: dss43@tpu.ru

COPPER PLATING OF CERAMIC SUBSTRATES OF AlN

D.S. Shikhov

Scientific Supervisor: Ass. Prof., PhD. D.V. Sidelev

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: dss43@tpu.ru

Abstract. The article considers a method of copper plating of AlN ceramic substrates using the direct bonded copper (DBC) method, which consists in the formation of a eutectic layer between Cu and AlN. The parameters for this technology were examined using two different installations.

Введение. В настоящее время существует потребность в недорогих силовых полупроводниковых устройствах (СПУ), которые предназначены для эффективного отвода тепла от радиоэлементов высокой мощности. Данные устройства применяются в различных электрических системах, например, в импульсных источниках питания, светодиодных лампы и т.д. В качестве СПУ предложено использовать материал диэлектрика – нитрид алюминия, который позволяет эффективно отводить тепло от активных радиоэлементов, а в роли проводника предлагается использовать медь, так она обладает высокой теплопроводностью и электрической проводимостью. В России на сегодняшний день нет производителей СПУ для высокоомощной электроники, из-за чего отечественные предприятия в значительной степени зависят от импорта, что отражается на стоимости готового устройства [1].

Цель данной работы состоит в разработке определения параметров технологии металлизации медью керамических плат из AlN.

В нашем эксперименте мы используем технологию прямого соединения медью (в англ. литературе – direct bonded copper (DBC)) для образования эвтектической связи между подложкой из AlN и медью. Создание эвтектической фазы происходит в виде образования промежуточного соединения CuAl_2O_4 , которое можно получить в процессе взаимодействия оксидов меди и алюминия – Al_2O_3 [1].

Слой оксида алюминия на поверхности AlN можно сформировать за счёт окисления AlN воздушной атмосфере при температуре 1100 °C со скоростью 0,1 мкм/ч. [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. После образования слоя Al_2O_3 на поверхности AlN производится пайка через тройную эвтектику: поверхность прижимается к керамической подложке и сверху накладывается нагрузка для того, чтобы было полное соприкосновение керамики с медью, после этого производится нагрев изделия выше температуры образования эвтектической фазы меди, алюминия и кислорода (1065 °C), следом происходит выдержка в течении 20 мин и медленное охлаждение со скоростью ~5 °C/мин для предотвращения изгибов

и растрескиваний меди, припаянной к керамике. Важно, чтобы в момент всего эксперимента в камере было малое содержание кислорода для того, чтобы не происходило окисления меди [3].

Экспериментальная часть. В работе были использованы керамические подложки из AlN размером $24 \text{ мм} \times 23 \text{ мм} \times 1 \text{ мм}$, медная пластина с размерами $24 \text{ мм} \times 23 \text{ мм} \times 0,125 \text{ мм}$. Предварительная очистка обоих материалов производилась в изопропиловом спирте с помощью ультразвуковой ванны в течение 15 мин. Далее выполнялось окисление AlN в течение 6 часов изотермической выдержки при температуре 1100°C в воздушной атмосфере с использованием высокотемпературной печи ATS 3210 (Applied Test Systems Inc.). Согласно [2], толщина, образованного Al_2O_3 на поверхности AlN, должна составлять 0,6 мкм.

Всего было проведено 2 эксперимента по пайке меди к AlN пластине. Первый эксперимент проводился в вакуумной печи с молибденовыми нагревателями. Для создания нагрузки на медь к керамике на образцы помещался прутки из вольфрама размером $\varnothing 26 \text{ мм} \times 200 \text{ мм}$, который формировал давление 37,7 кПа. После подачи потока гелия в качестве инертного газа в камеру, остаточное давление составило $p_{\text{ост}} = 10^{-2} \text{ Па}$, далее производился нагрев образца до 1050°C , средняя скорость нагрева составила $\sim 31^\circ\text{C}/\text{мин}$. После этого образец выдерживался при этой температуре в течение 20 мин. На следующем этапе производилось постепенное охлаждение со скоростью $\sim 5^\circ\text{C}/\text{мин}$.

Второй эксперимент проводился в муфельной печи при остаточном давлении $p_{\text{ост}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$ с подачей аргона в качестве инертного газа. Медную пластину положили на окисленную подложку AlN, сверху меди была размещена пластина из вольфрамового сплава ВА, после чего уже размещался прутки из вольфрама размером $\varnothing 26 \text{ мм} \times 70 \text{ мм}$, нагрузка составила 13,2 кПа. Также, как и в прошлом эксперименте, производился постепенный нагрев до 1070°C со скоростью $\sim 6^\circ\text{C}/\text{мин}$. Достигнув этой температуры, образец изотермически выдерживался в течении 20 мин, после чего производилось медленное охлаждение со скоростью $\sim 4^\circ\text{C}/\text{мин}$.

Результаты. По итогам первого эксперимента было обнаружено, что пайки меди к AlN не произошла, однако припаялась медь к прутку из вольфрама, который находился на поверхности меди и обеспечивал на неё давление. Был выполнен рентгенофазовый анализ вольфрамового прутка, выяснилось, что помимо вольфрама в нём содержится достаточно много других примесей, таких как: Al – 9,7 %, Ni – 7,5 %, Fe – 2,8, P – 1,0 % и др. Поэтому было принято решение положить пластину из сплава ВА между медью и прутком из вольфрама в следующем эксперименте. Также была проанализирована морфология поверхности и элементный состав медной пластины с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ).

На Рис. 1 (а) хорошо видна достаточно развитая поверхность пластины меди, которая была прижата к пластине из AlN. Напротив, на Рис. 1 (б) видна более гладкая поверхность меди, которая была прижата к вольфраму, а также наблюдаются трещины и деформации меди, которые возможно образовались в процессе подготовки образца для анализа.

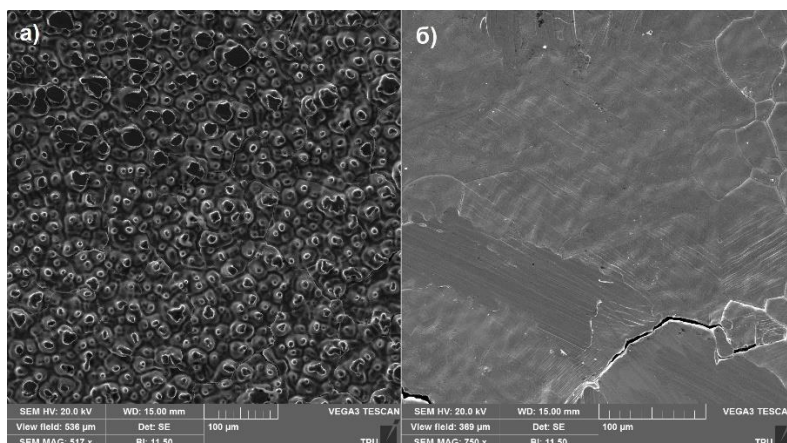


Рис. 1. СЭМ-изображения поверхности меди после первого эксперимента:

а) поверхность, прижатая к AlN; б) поверхность, обращенная к W

Согласно данным элементного анализа (Таблица 1) видно, что на поверхности меди, обращенной к окисленной пластине из AlN, присутствует небольшое количество кислорода. Но этого оказалось недостаточно для более плотного соединения меди с керамикой, поэтому во втором эксперименте была увеличена температура для более качественной пайки.

Таблица 1

Элементный состав поверхности меди

	Поверхность, обращенная к AlN	Поверхность, обращенная к W
C, ат. %	29,6	29,8
Cu, ат. %	68,7	70,2
O ₂ , ат. %	1,8	-

Во втором эксперименте была увеличена температура нагрева с 1050 до 1070 °C. Из-за меньших габаритов камеры, были уменьшены размеры прутка из W, ввиду этого нагрузка на медь снизилась с 37,7 до 13,2 кПа. Проведя весь эксперимент согласно описанию в разделе выше, было обнаружено, что произошла пайка меди к керамике. Полученный образец подготовлен для детального анализа.

Закключение. В результате исследований показано, что для качественной пайки меди к подложке из AlN необходимо использовать температуру не менее 1070 °C. В настоящее время проходит испытания образец, который был получен во втором эксперименте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красный И. Б. Технология формирования толстых медных слоев на высокотеплопроводящих керамических подложках // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2015. – №4. – С. 11-16.
2. Kluge-Weiss, P., Gobrecht, J. (1984). Directly Bonded Copper Metallization of AlN Substrates for Power Hybrids. MRS Proceedings Library, no. 40, pp. 399-404.
3. Hromadka, K., Stulik, J., Reboun, J., Hamacek, A. (2014). DBC Technology for Low Cost Power Electronic Substrate Manufacturing [Electronic version]. Procedia Engineering, no. 69, pp. 1180-1183.