

УДК 621.793.79

DOI: 10.17223/00213411/65/11/93

О ПОРОГАХ ПЛАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ «ПЛЕНКА – ПОДЛОЖКА» ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СИЛЬНОТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ*

А.Б. Марков, А.В. Соловьев

Томский научный центр СО РАН, г. Томск, Россия

На основе численного решения одномерного нестационарного уравнения теплопроводности с объемным тепловым источником проанализировано влияние теплопроводности материала пленки на пороги плавления системы «пленка – подложка» в зависимости от толщины пленки при облучении низкоэнергетическим сильноточным электронным пучком. Для моделирования источника нагрева использовались экспериментально полученные осциллограммы тока пучка на коллекторе и ускоряющего напряжения. Вариации теплопроводности пленки осуществлялись в широких пределах, перекрывающих весь возможный диапазон для реальных материалов. Определена зависимость порога плавления гомогенного материала от теплопроводности. Также установлены типичные функциональные зависимости порогов плавления системы «пленка – подложка» в зависимости от толщины пленки.

Ключевые слова: *низкоэнергетический сильноточный электронный пучок, порог плавления, теплопроводность, система «пленка – подложка», функциональная зависимость.*

Введение

Источник поверхностного нагрева (ИПН) – это устройство, которое потребляет электрическую или химическую энергию и трансформирует ее в энергию нагрева (тепло) поверхностного слоя обрабатываемого образца. ИПН можно разделять по характеру их функционирования во времени на импульсные (скважность $\gg 1$) и стационарные (скважность ~ 1). Плотность потока энергии ($\text{Вт}/\text{см}^2$), генерируемая последними, существенно ниже, поскольку вся потребляемая ИПН энергия непрерывно трансформируется в энергию нагрева, в то время как импульсные источники могут продолжительное время накапливать энергию, а потом за короткое время эмитировать ее. Сказанное выше о генерируемой плотности потока энергии относится и к плотности потока энергии, выделяющейся в образце. Таким образом, при стационарном нагреве, по сравнению с импульсным, существенно большая доля поступившей в образец энергии будет отводиться за счет теплопроводности в глубь образца. Именно поэтому для того, чтобы нагреть тонкий приповерхностный слой образца до температуры выше исходной, в случае стационарного ИПН необходимо до этой же температуры нагреть весь образец.

Одной из важных характеристик нагреваемого образца является порог плавления, т.е. наименьшее значение поглощенной материалом плотности потока энергии, при котором начинается фазовый переход материала из твердой фазы в жидкую. Плавление образца при стационарном подводе энергии происходит в несколько этапов: образец целиком нагревается до температуры плавления, после чего поглощает скрытую теплоту плавления и, наконец, поверхность, к которой подводится тепло, начинает плавиться. Таким образом, для плавления даже тонкого поверхностного слоя в стационарном режиме требуется огромное количество энергии, пропорциональное объему образца. В этом смысле импульсный нагрев в нестационарном режиме обеспечивает плавление приповерхностных слоев при значительно меньшем пороге плавления. Так, при плавлении слоя поверхности толщиной 1 мкм в образце длиной 1 м порог плавления при нагреве стационарным ИПН будет более чем в миллион раз больше, чем при нагреве импульсным.

В качестве импульсного ИПН в последнее время широко используются импульсные потоки частиц, в частности низкоэнергетические сильноточные электронные пучки (НСЭП). Источник НСЭП отличается от других источников импульсных потоков частиц тем, что имеет потенциал широкого применения в промышленности. Последнее обусловлено, во-первых, большим диаметром пучка (0.06–0.10 м) и, во-вторых, возможностью формирования поверхностных сплавов в едином вакуумном цикле [1]. Именно поэтому формированию поверхностных сплавов разного типа с помощью НСЭП посвящено большое количество работ [2–12].

*Работа выполнена в рамках государственного задания ТНЦ СО РАН, проект № FWRP-2021-0001.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>