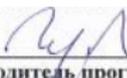


ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ


Руководитель программы
аспирантуры
профессор Е.И. Пряхин

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ
ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ**

Область науки:	2. Технические науки
Группа научных специальностей:	2.6. Химические технологии, науки о материалах, металлургия
Научная специальность:	2.6.17. Материаловедение
Отрасли науки:	Технические
Форма освоения программы аспирантуры:	Очная
Срок освоения программы аспирантуры:	4 года
Составитель:	д.т.н., проф. Е.И. Пряхин

Санкт-Петербург

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

Изучение данной дисциплины предполагает закрепление аспирантами углубленных профессиональных знаний о взаимодействии лазерного излучения с веществом.

Цель дисциплины — формирование у аспирантов высокого уровня знаний в области обработки металлов и сплавов с применением современных лазерных технологий, а также сопровождения и применения лазеров в различных технологических процессах.

Основные задачи дисциплины - задачей изучения дисциплины «Взаимодействие лазерного излучения с веществом»:

- получение практических навыков в проведении проектных работ по созданию лазерного технологического оборудования и технологических процессов лазерной обработки для области прецизионного приборостроения;
- умение проводить инженерные оценки и расчеты лазерных технологических процессов и лазерного технологического оборудования;
- умение проводить разработку макетных образцов лазерного технологического оборудования и проводить их исследования с целью получения заданных параметров и характеристик самого оборудования и отработки технологического процесса лазерной обработки
- овладение методами и средствами определения комплекса физических характеристик материалов (механических, теплофизических, оптических, электрофизических и других), соответствующих целям их практического использования;
- овладение навыками использования соответствующего программного обеспечения и технологического оборудования.

№ п/п	Темы практических задач	Количество задач
1.	Лазерный нагрев тонких пленок	2

РАЗДЕЛ 1

Лазерный нагрев тонких пленок

Лазерный нагрев тонких пленок может вызвать следующие процессы:

- термоэлектронную и термоионную эмиссию;
- десорбцию газа с поверхности пленки;
- гетерогенные химические реакции (например, окисление, восстановление и т.д., химические преобразования, связанные с взаимодействием многокомпонентного вещества или атомов пленки с подложкой);
- термо- или фотодиссоциацию некоторых составляющих;
- структурные изменения в материале (рекристаллизацию);
- отжиг дефектов в полупроводниковой структуре; взаимную диффузию нагретых слоев;
- термическое расширение и появление деформаций;
- спекание и усадку микропористых слоев.

Схемы лазерного нагрева приведены на рисунке 1.



Рисунок 1 - Схемы лазерного нагрева

Основные факторы лазерного нагрева:

- теплоотвод в подложку;
- боковой отвод тепла в пленку;
- адгезия пленки к подложке;
- неоднородный нагрев пленки по толщине;
- неоднородное поперечное распределение интенсивности светового пучка;
- температурная зависимость поглощательной способности;
- временные флуктуации плотности светового потока;
- охлаждение пленки.

Используемые на практике формулы для типичных режимов нагрева при различных параметрах пленки и подложки представлены на рисунке 2.

Температуры для:	Адиабатические режимы, $\tau < 100$ нс	Режимы теплопроводности, $\tau > 100$ мкс
Непрозрачная пленка и любая подложка	$T = \frac{q_0 A_1 t}{\rho_1 c_1 h} \quad (1)$	$T = \frac{2q_0 A_1 \sqrt{a_2 t}}{\sqrt{\pi k_2}} \quad (2)$
Полупрозрачная пленка и непрозрачная подложка	$T = \frac{q_0 (A_1 + D_1) t}{\rho_1 c_1 h} \quad (3)$	$T = \frac{2q_0 (A_1 + D_1) \sqrt{a_2 t}}{\sqrt{\pi k_2}} \quad (4)$
Полупрозрачная пленка и слабо поглощающая подложка	$T = \frac{q_0 t}{\rho_1 c_1 h} \left(A_1 + \frac{4D_1 \alpha_2 \sqrt{a_2 t}}{3\sqrt{\pi}} \right) \quad (5)$	$T = 2q_0 A_1 \sqrt{a_2 t} + \frac{q_0 D_1 t \alpha_2}{\rho_2 c_2} \quad (6)$
Прозрачная пленка и непрозрачная подложка	$T = \frac{q_0 D_1 t}{\rho_1 c_1 h} \quad (7)$	$T = \frac{2q_0 D_1 \sqrt{a_2 t}}{\sqrt{\pi k_2}} \quad (8)$
Прозрачная пленка и слабо поглощающая подложка	$T = \frac{3}{4\sqrt{\pi}} \frac{q_0 D_1 t \alpha_2 \sqrt{a_2 t}}{\rho_1 c_1 h} \quad (9)$	$T = \frac{q_0 D_1 t \alpha_2}{\rho_2 c_2} \quad (10)$

Рисунок 2 – Используемые на практике формулы для типичных режимов нагрева при различных параметрах пленки и подложки

Задача №1. Рассчитать, возможно ли достичь температуры рекристаллизации плёнки Cr ($T_p = 800$ К) на стеклянной подложке ($a_2 = 6 \cdot 10^{-3}$ см/с, $k_2 = 10^{-2}$ Вт/см·К) при облучении лазером YAG:Nd ($\lambda = 1,06$ мкм, $A_1 = 0,5$) $\tau = 1$ мс, $q_0 = 6 \cdot 10^3$ Вт/см².

Задача №2. Рассчитать порог испарения плёнки Cr ($h = 100$ нм) на стеклянной подложке при облучении лазером YAG:Nd для $\tau = 10^{-3}$ с и $\tau = 10^{-7}$.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов, А.В. Теоретические основы лазерной обработки [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие / А.В. Богданов, А.И. Мисюров, Н.А. Смирнова. — Электрон. дан. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 23 с. <https://e.lanbook.com/book/52096>
2. Григорьянц, А. Г. Лазерная обработка неметаллических материалов: учеб. пособие для вузов / А. Г. Григорьянц, А. А. Соколов. - М.: Высш. шк., 1988. - 187, [2] с.: ил.
3. Григорьянц, А. Г. Основы лазерной обработки материалов/ А. Г. Григорьянц. - М.: Машиностроение, 1989. - 301 с.

Дополнительная литература

1. Афонькин, М.Г. Формирование цветных структур на поверхности металла лазерным излучением: монография / М.Г. Афонькин, Е.В. Ларионова. – Спб.: изд. СЗТУ, 2010. – 205с.: ил.
2. Веденов, А. А. Физические процессы при лазерной обработке материалов / А. А. Ве-денов, Г. Г. Гладуш. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 205, [2] с.: граф., ил., табл.
3. Делоне, Н. Б. Взаимодействие лазерного излучения с веществом: курс лекций/ Н. Б. Делоне. - М.: Наука, 1989. - 277 с.: ил.
4. Электрофизические и электрохимические способы обработки материалов: Учебное пособие / М.Г. Киселев и др. - М.: НИЦ ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2014. - 389 с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=441209>

Учебно-методическое обеспечение

1. Лосев, В.Ф. Физические основы лазерной обработки материалов: учебное пособие [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.Ф. Лосев, Е.Ю. Морозова, В.П. Ципилев. — Электрон. дан. — Томск : ТПУ, 2011. — 199 с. <https://e.lanbook.com/book/10277>
2. Физические основы лазерной техники : учеб. пособие / Б.Н. Пойзнер. — 2-е изд., доп. — М. : ИНФРА-М, 2017. — 160 с.

Разработал:

зав. кафедрой материаловедения и технологии
художественных изделий, д.т.н. профессор
Е.И. Пряхин