

ференциальные характеристики вторично-эмиссионных процессов, как структура масс-спектров вторичных ионов и оже-спектров, являются чувствительными к структуре образца в отличие от аналогичных характеристик вторичных процессов при электронном возбуждении.

Список литературы

- [1] *Машкова Е.С., Молчанов В.А.* Рассеяние ионов средних энергий поверхностями твердых тел. М.: Атомиздат, 1980.
- [2] *Распыление твердых тел ионной бомбардировкой / Под ред. Р. Берриша.* М.: Мир, 1986.
- [3] *Брусиловский Б.И.* Кинетическая ионно-электронная эмиссия. М.: Атомиздат, 1990.
- [4] *Venninhoven A., Rudcnauer F.G., Werner W.* Secondary ion massspectrometry. J. Willey a.s.
- [5] *Коулсон Ч.* Валентность. М.: Мир, 1960.
- [6] *Дорожкин А.А., Коварский А.П., Ли-Фату А.В., Мансуров В.Н.* // Письма в ЖТФ. 1992. Вып. 6.
- [7] *Лейман К.* Взаимодействие излучения с твердым телом и образование элементарных дефектов. М.: Атомиздат, 1979.

05;07;12

Журнал технической физики, т. 66, в. 5, 1996

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МИШЕНИ

© *К.Б.Абрамова, И.П.Шербаков, И.Я.Пузонто, А.М.Кондырев*

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН,
194021 Санкт-Петербург, Россия
(Поступило в Редакцию 29 ноября 1995 г.)

Взаимодействие интенсивного лазерного излучения с веществом приводит ко множеству разнообразных эффектов: углубление рельефа облучаемой поверхности, изменение коэффициента поглощения, загорание плазменного факела, возникновение акустической волны и термонапряжений [1,2]. Все это может приводить к возникновению в металлической мишени механических напряжений, которые в свою очередь провоцируют эмиссионные явления, например эмиссию фотонов, атомов и т. д.

В работах [3-5] показано, что механоэмиссия фотонов благородных металлов и меди может возбуждаться вследствие выхода подвижных дислокаций на поверхность и определяется межзонными переходами в твердом теле. Квантовый выход люминесценции составляет примерно 10^{-9} . Реально интенсивность люминесценции, как следует из оценок [5] и экспериментов [6], не превышает 10^{-10} Вт/см² и зависит от скорости нагружения. Наибольшая интенсивность излучения при нагружении медных образцов была зарегистрирована в опытах, использующих тыльный откол [7], а наименьшая — при статическом нагружении в режиме ползучести [8]. До сих пор нам неизвестны опыты, в которых регистрировалась бы люминесценция при неоднократном нагружении

металлических образцов. Использование лазерных импульсов позволяет надежно регистрировать люминесценцию с тыльной по отношению к воздействию стороны образца [9]. При этом можно использовать режим, в котором не происходит разрушения образца, а значит, осуществлять многократное его нагружение и установить, есть ли эволюция излучения и если есть, то какова она, существует ли ее связь с изменениями в микроструктуре. Это важно для понимания механизма механолюминесценции металлов и установления общих закономерностей механоэмиссионных явлений твердых тел, которые значительно полнее исследованы для диэлектриков [10-14]. Например, надежно установлено, что для деформационной эмиссии фотонов и электронов щелочногалогенидных кристаллов важно существование дислокаций определенного типа [12-14].

Блок схема эксперимента представлена на рис. 1. В опытах использовались образцы в виде дисков толщиной 0.1-0.5 мм диаметром 40 мм. Одна поверхность образца располагалась перед входным окном ФЭУ-136, чувствительным к излучению в широкой спектральной области (300-800 нм), который работал в аналоговом режиме в комплексе с цифровым запоминающим осциллографом. Другая облучалась импульсом лазера, обладающим следующими параметрами: длительность импульса $t_{л} = 1.5$ мс, энергия в режиме свободной генерации $P = 24$ Дж, длина волны 1.06 мкм. Пучок фокусировался в пятно диаметром $d_{эф} = 2-8$ мм, мог ослабляться нейтральными светофильтрами до уровня $P_{пор}$, соответствующего порогу разрушения передней поверхности образца (или, что тоже самое, порогу загорания плазменного факела на передней поверхности образца) и еще ниже. Нижний предел мощности лазерного импульса определялся возможностью регистрации люминесценции поверхности образца и составлял $0.1-0.2 P_{пор}$.

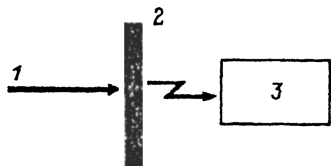


Рис. 1.

1 — луч лазера, 2 — детектор.

Облучению подвергались медные, золотые, серебряные, платиновые образцы. Как правило, при $P_{лаз} \gtrsim 0.2 P_{пор}$ на тыльной стороне образца возбуждалась люминесценция. Однако в ряде случаев вплоть до $P_{лаз} \gtrsim P_{пор}$ люминесценция не регистрировалась. Если интенсивность люминесценции ($P_{лаз} < P_{пор}$) была недостаточной для надежной ее регистрации, то импульс $I_{люм}$ начинался во всех случаях через 0.2-0.5 мс (в зависимости от материала образца) от начала $P_{лаз}$ и заканчивался, как правило, до окончания $P_{лаз}$. Увеличение интенсивности импульса лазера увеличивает интенсивность люминесценции. Если $P_{лаз}$ становится достаточно большой и облучаемая поверхность образца разрушается, то на его тыльной стороне возникают два разрешенных во времени импульса люминесценции $I_{люм}^I$ и $I_{люм}^{II}$, причем $I_{люм}^I$ появляется во время переднего фронта импульса лазера (рис. 2). Время задержки импульсов люминесценции относительно начала лазерного излучения и энергия $P_{лаз}$, возбуждающая $I_{люм}^I$ и $I_{люм}^{II}$, позволяют утверждать [9], что оба импульса возбуждаются механическими напряжениями, но $I_{люм}^{II}$ — следствие напряжений, вызванных акустической волной, а $I_{люм}^I$ — термонапряжений.

Описанные ниже эксперименты выполнены при мощности лазера $P_{пор} > P_{лаз} > 0.1-0.2 P_{пор}$, т. е. возбуждаются термонапряжения и лю-

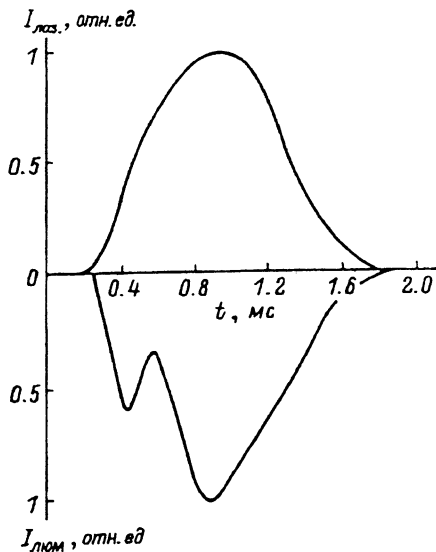


Рис. 2.

минесценция только вследствие термонапряжений. Для меди расчетная критическая плотность энергии $P_{пор} = 5 \cdot 10^5$ Вт/см², экспериментальное значение $4 \cdot 10^6$ Вт/см² [2] (вычисления проведены для плотности поглощенного потока излучения, который не превышает для меди 7% от падающего [15]). Очень важно, что в описываемых опытах энергия, вводимая в образец, была малой не только по сравнению с энергией испарения, но и плавления материала в облучаемом пятне, а температура тыльной стороны не могла превышать нескольких сот градусов.

Исследовалась эволюция люминесценции при облучении образца пакетом следующих друг за другом с интервалом в 5 мин импульсов лазера. Надежно установлено, что при таком нагружении существует эволюция люминесценции. Интенсивность механолюминесценции со временем падает. Число импульсов лазера энергией $P_{лаз} \sim 0.2 P_{пор}$, возбуждающих люминесценцию тыльной поверхности образцов, изготовленных из Cu, Ag, Au, Pt, колеблется от 2 до 25 и более.

Более подробные исследования выполнены на медных образцах. Предварительно подготовлены 4 группы образцов, имеющих одинаковые геометрические размеры и отличающиеся структурой. На рис. 3 приведены характерные фотографии микрошлифов. Образцы I группы (фотография структуры одного из них приведена на рис. 3,а) изготовлены из медного прутка и имеют средний размер зерна ~ 0.05 мм. На рис. 3,б пример из группы II; образцы изготовлены из того же прутка, но затем отожжены, средний размер зерна 0.1–0.2 мм, попадают зерна величиной 0.4–0.5 мм; на зернах имеются следы деформаций. Рис. 3,в,г (группы III и IV) представлены образцы, изготовленные из листовой меди. В группе III крупные сильно деформированные зерна, вытянутые вдоль направления деформации. Размер зерна вдоль направления деформации ~ 2 мм, в перпендикулярном — ~ 0.4 мм. Зерна пронизаны

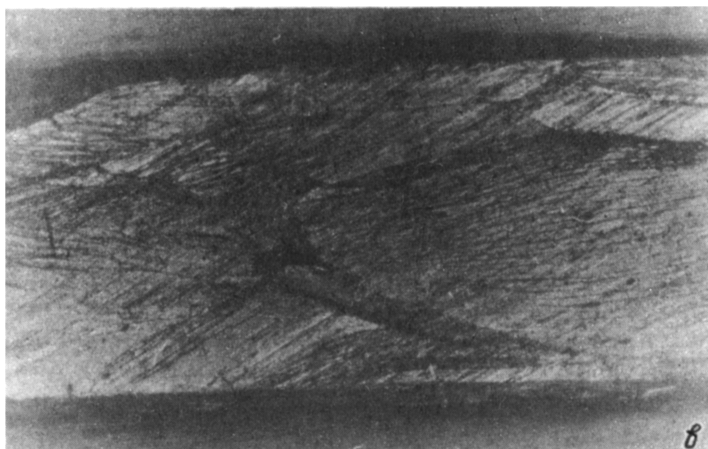


Рис. 3. Структура образцов ($\times 50$).

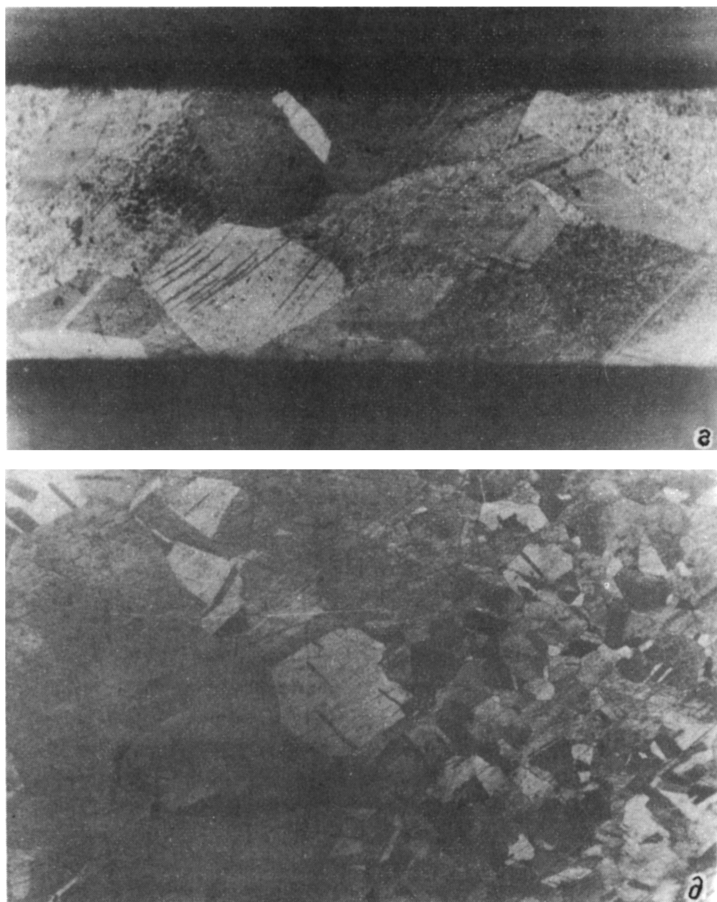


Рис. 3 (продолжение).

ны линиями скольжения. В IV группе зерна ~ 0.4 мм, дефектов мало, линии скольжения и двойникования практически отсутствуют.

На рис. 4 представлена зависимость интенсивности люминесценции медного образца из I группы от порядкового номера импульса облучения импульсом лазера мощностью $P_{\text{лаз}} \sim 0.2 P_{\text{пор}}$. Из графика видно, что интенсивность люминесценции уменьшается от раза к разу и в данном случае на 5-м нагружении становится равной нулю (кривая *a*). Увеличение мощности лазерного импульса в два раза приводит к возобновлению люминесценции, которая при последующем облучении так же постепенно затухает (кривая *б*).

Люминесценция тыльной стороны отожженных образцов (II группа) при облучении их импульсом $P_{\text{лаз}} < P_{\text{пор}}$ не зафиксирована. Образец (III группы) облучался импульсами $P_{\text{лаз}} \sim 0.2 P_{\text{пор}}$ 25 раз, во всех случаях возбуждалась люминесценция практически постоянной амплитуды и длительности. Люминесценции образцов IV группы при облучении их импульсами лазера мощностью $P_{\text{лаз}} \lesssim P_{\text{пор}}$ не зафиксировано.

Исследование микрошлифов облученных образцов позволило установить следующее. В структуре образцов I группы произошли изменения. По всей толще образца в канале диаметром, равным диаме-

тру облучающего пучка, зерна укрупнились и стали такими же, как у отожженных образцов II группы (рис. 3, д). Изменений в структуре образцов II, III и IV групп при использовавшемся увеличении не установлено.

Качественно объяснить эти результаты можно опираясь на дислокационные представления о прочности и пластичности материалов и приняв дислокационный механизм возбуждения механолюминесценции [5, 16]. Хотя прямых измерений плотности дислокаций не было проведено, сравнение фотографий структуры образцов позволяет судить и о сравнительной плотности дислокаций в них. При воздействии лазерного импульса в образце возникают механические напряжения, благодаря которым некоторые дислокации могут преодолеть свой энергетический барьер и прийти в движение. Наибольший сигнал люминесценции, как видно из рис. 4, наблюдается при первом нагружении. Это естественно связать с тем, что в исходном состоянии количество слабо закрепленных дислокаций больше, чем перед вторым нагружением, т.е. постепенно уменьшается количество дислокаций, приобретающих подвижность при данной мощности лазерного импульса. Увеличение мощности лазерного импульса до $P_{\text{лаз}} = 0.4 P_{\text{пор}}$ приводит в движение другую группу дислокаций, обладающих более высокой энергией активации, и детектор опять регистрирует люминесценцию. По-видимому, в образцах II и IV групп плотность дислокаций, которые приобретают подвижность и успевают выйти на поверхность, недостаточна для возбуждения регистрируемой в настоящих опытах люминесценции. В образцах III группы ситуация обратная: возбуждаемые напряжения достаточны для постепенного продвижения к тыльной поверхности дислокаций и выхода их на поверхность при многократном нагружении.

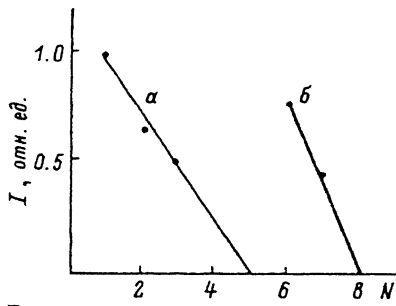


Рис. 4.

Таким образом, установлено, что при циклическом нагружении образцов может происходить затухание возбуждаемой в них люминесценции. Показано, что важным условием возможности возбуждения механолюминесценции является наличие большого количества дефектов в структуре металла.

Работа выполнена при поддержке Международного научного фонда. Грант № NTV000.

Список литературы

- [1] Рэди Дж. Действие мощного лазерного излучения. М.: Мир, 1974.
- [2] Анисимов С.И., Имас Я.О., Солонов Г.С., Ходыко Ю.В. Действие излучения большой мощности на металлы. М.: Наука, 1970.
- [3] Молоцкий М.И. // ФТТ. 1978. Т. 20. Вып. 6. С. 1651-1655.
- [4] Молоцкий М.И. // ФТТ. 1981. Т. 23. Вып. 7. С. 2171-2172.
- [5] Молоцкий М.И. // ФММ. 1983. Т. 55. № 1. С. 743-750.
- [6] Абрамова К.Б., Шербаков И.П. // ЖТФ. 1994. Т. 64. Вып. 9. С. 75-88.
- [7] Абрамова К.Б., Валицкий В.П., Златин Н.А., Перегуд Б.П. // ЖЭТФ. 1976. Т. 71. Вып. 5. С. 1873-1879.
- [8] Абрамова К.Б., Пагомов А.Б., Перегуд Б.П., Шербаков И.П. // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. Вып. 17. С. 1025-1028.

- [9] *Абрамова К.Б., Кондырев А.М., Чмсль А.Е., Шербаков И.П.* // ЖТФ. 1992. Т. 62. Вып. 1. С. 206–208.
- [10] *Mayer K., Obricat D., Rossberg M.* // Kristall and Technic. 1970. Vol. 5. N 1. P. 5–49; Kristall and Technic. 1970. Vol. 5. N 2. P. 180–205.
- [11] *Svensen B.* // Phys. Rep. 1989. Vol. 180. N 6-с. P. 335–416.
- [12] *Закревский В.А., Шульдинер А.В.* // Письма в ЖТФ. Т. 10. Вып. 3. С. 139–143.
- [13] *Кусов А.А., Клинггер М.И., Закревский В.А.* // ФТТ. 1990. Т. 32. Вып. 2. С. 1694.
- [14] *Zakrevskii V.A., Shuldiner A.V.* // Phyl. Mag. B. 1995. Vol. 71. N 2. P. 127–138.
- [15] Физические величины. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1991.
- [16] *Van Бюрен.* Дефекты в кристаллах. М., 1962.

01;08;09

Журнал технической физики, т. 66, в. 5, 1996

О ВОЗМОЖНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ НЕКОГЕРЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ

© В.И.Миргородский, В.В.Герасимов, С.В.Пешин

Институт радиотехники и электроники РАН,
141120 Фрязино, Московская область, Россия
(Поступило в Редакцию 21 февраля 1995 г.)

Известно, что стационарная картина интерференции некогерентного излучения наблюдается при условии малости разности хода интерферирующих лучей по сравнению с длиной когерентности излучения. Эта особенность используется, в частности, при измерениях линейных размеров концевых мер ^[1] в интерферометрах типа Физо или Кюстера. Предлагаемая работа посвящена изложению основанного на этом явлении нового принципа получения информации о распределении в пространстве источников некогерентного излучения электромагнитной, акустической или какой-либо другой природы. В то время как в интерферометрах Физо и Кюстера осуществляется измерение пространственного размера объектов вдоль одного направления, предлагаемый принцип позволяет получать информацию о трехмерных распределениях в пространстве интенсивности эмиссии некогерентного излучения. Главным требованием к параметрам излучения для реализации такого зондирования является малость длины когерентности L_k по сравнению с требуемым пространственным разрешением Δr .

Рассмотрим пространство, в котором излучение распространяется со скоростью v и затуханием α . Для упрощения анализа сосредоточим все источники некогерентного излучения внутри области V (рис. 1). Мгновенные амплитуды эмиссии источников излучения представим для простоты скалярной вещественной функцией источников $N(\mathbf{r}, t)$, подробнее про свойства которой речь пойдет ниже. Пусть приемники излучения расположены в различных точках пространства \mathbf{r}_i ($i = 1, 2, \dots, N$), не принадлежащих к области V . Тогда амплитуда излучения источников вблизи чувствительных элементов приемников будет определяться следующим выражением:

$$S_i(t) = \int_v N \left(\mathbf{r}, t - \frac{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i|}{v} \right) \frac{\exp(-\alpha|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i|)}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i|} d^3r. \quad (1)$$