

из боковых в среднем порядка 20дБ, причем наибольший из боковых максимумов находится в освещенной зоне. С уменьшением показателя преломления происходит изменение угловых зависимостей звукового давления. Отмечается значительное уменьшение главного максимума при $n \approx 1,4$, а также рост амплитуды боковых максимумов вблизи от главного. Расчеты показывают, что амплитуда максимумов в освещенной зоне при этом уменьшается и их роль оказывается несущественной.

Следует отметить, что при определенных значениях kr_0 возможно резонансное возбуждение собственных колебаний жидкой сферы, на что в работе [2] внимание не обращено. Не останавливаясь на этом подробно, укажем, что при резонансах нарушается как угловое, так и радиальное распределение звукового поля. Все приведенные данные относятся к нерезонансным областям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Toulis W. J. Acoustic focusing with spherical structures.— JASA, 1965, 35, N 3, p. 286—292.
2. Boyles C. A. Theory of focusing plane waves by spherical liquid lenses.— JASA, 1965, 38, N 3, p. 393—405.
3. Boyles C. A. Wave theory of an acoustic Luneburg lens.— JASA, 1968, 43, N 4, p. 709—715.
4. Boyles C. A. Radiation characteristics of spherically symmetric, perfect focusing acoustic lenses.— JASA, 1969, 45, N 2, p. 351—355.
5. Boyles C. A. Wave theory of an acoustic Luneburg lens. II. The theory of variable density lenses.— JASA, 1969, 45, N 2, p. 356—364.
6. Boyles C. A. Theory of the spherical, compliant-tube Luneburg lens.— JASA, 1977, 61, N 2, p. 338—352.
7. Ржевкин С. Н. Курс лекций по теории звука. М., 1960, с. 257—286.
8. Нигул У. К., Метсавээр Я. А., Векслер Н. Д., Кутсер М. Э. Эхо-сигналы от упругих объектов. Таллин, 1974, Т. 2. с. 31.

Поступила в редакцию
27.03.80

УДК 539.1

В. А. МАШТАКОВА, Б. Б. ШИШКИН

ТОНКАЯ СТРУКТУРА СПЕКТРОВ РЕКОМБИНАЦИОННОЙ ЭМИССИИ

1°. Представления о тепловых дефектах (ТД) как о локализованных объектах в переходных металлах справедливы, по всей видимости, только до температур $T \sim \Theta_{ТЭ}$; $\Theta_{ТЭ}$ — характеристическая термоэмиссионная температура [1]. При $T > \Theta_{ТЭ}$ в металлах может происходить рекомбинация ТД. Оценка, проведенная в работе [1], показывает, что освобождающаяся в этом процессе энергия Q достаточна для образования в электронной жидкости металлов элементарных возбуждений на уровни, превышающие уровень вакуума. Результат этого процесса — наблюдаемый на опыте ток рекомбинационной эмиссии [1].

Для исследования энергетического спектра носителей этого тока использован метод задерживающего электростатического поля [2]. Техника эксперимента описана в работе [1]. Опыты проводились с различными кристаллографическими плоскостями (гранями) монокристаллов вольфрама и молибдена.

2°. Типичные вольт-амперные характеристики (ВАХ) для граней (100) вольфрама и молибдена приведены на рис. 1 и 2. По результатам наших опытов пороговая температура появления аномалий на ВАХ для грани (100) монокристалла вольфрама равна 1810 ± 5 К, для той же грани молибдена $\Theta_{\text{тэ}} = 1740 \pm 5$ К.

Переход от нормальных ВАХ к аномальным хорошо просматривается на рис. 1. Прецизионные измерения кривых задержки токов термоэлектронной эмиссии для грани (100) монокристалла вольфрама описаны в работе [3]: измерения выполнены вплоть до $T \leq 1818$ К

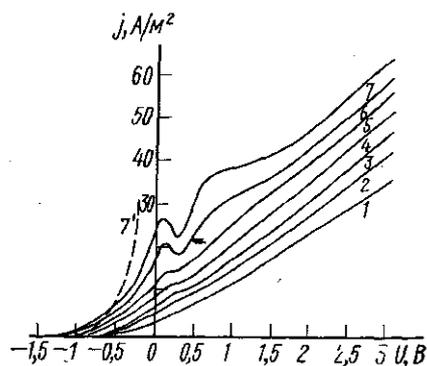


Рис. 1. ВАХ для грани (100) монокристалла вольфрама. T (К): 1—1800; 2—1825; 3—1900; 4—1925; 5—1970; 6—2040; 7—2070. Кривая 7' — максвелловская теоретическая ВАХ

($\Theta_{\text{тэ}} = 1810 \pm 5$ К!); отмечены отклонения от идеальных максвелловских кривых задержки, возрастающие при увеличении T .

Два следствия вытекают из экспериментальных ВАХ рис. 1 и 2.

1. Наблюдаются более длинные по сравнению с максвелловскими «хвосты» на ВАХ в области задерживающих разностей потенциалов $U < 0$. Экспериментальную ВАХ 7 на рис. 1 достаточно сравнить с теоретической максвелловской ВАХ 7', чтобы убедиться в правильности этого вывода. Для всех исследованных нами объектов выполняется следующее правило: длина «хвоста» ВАХ в области $U < 0$ примерно равна алгебраической сумме $Q + eV_{\text{min}} - e\phi$, в которой eV_{min} — возрастание потенциального барьера катода за счет пространственного заряда в диоде, $e\phi$ — работа выхода катода. В численных оценках этой суммы величины eV_{min} и $e\phi$ определялись в каждом конкретном опыте по известным методикам [2], а величина Q считалась совпадающей с энергией активации самодиффузии в металле или с удвоенной теплотой образования вакансий, которая определяется из опытов по температурной зависимости теплоемкости металлов. Сформулированное

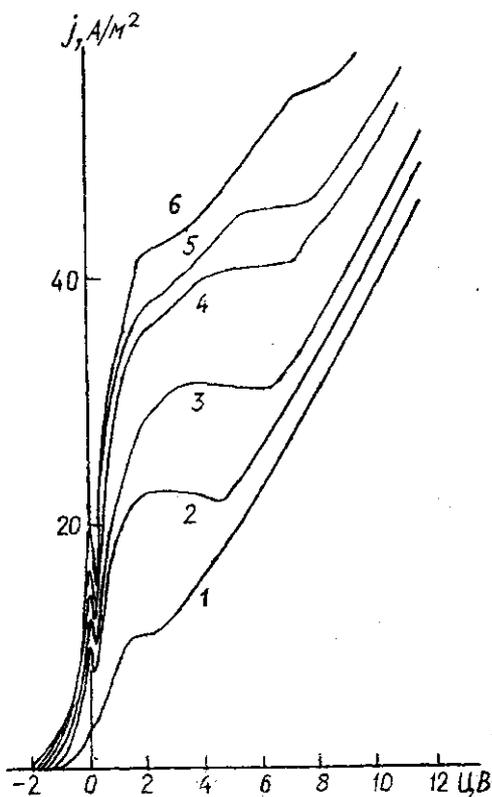


Рис. 2. ВАХ для грани (100) монокристалла молибдена. T (К): 1—2125; 2—2185; 3—2210; 4—2245; 5—2280; 6—2290

правило находится в полном соответствии с механизмом явления рекомбинационной эмиссии (1°).

2. Обращают на себя внимание S-образные ВАХ в области $U > 0$ (рис. 1 и 2), переходящие при дальнейшем росте T в осцилляционные кривые для вольфрама (рис. 1) и ВАХ с целой серией «ступенек» для молибдена (рис. 2). Каждая новая особенность на ВАХ появляется при увеличении температуры катода примерно на 100° .

Падающие участки на ВАХ должны соответствовать генерации диодом электромагнитных колебаний. Нам пока что не удалось зафиксировать рабочие точки на падающих участках. Однако при нулевом смещении ($U=0$) обнаружены электромагнитные колебания тока

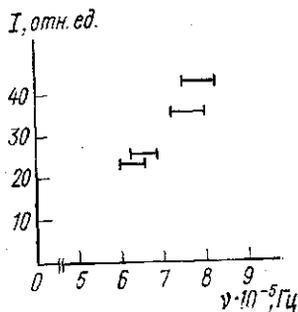


Рис. 3. Диапазон спектров электромагнитных колебаний в диоде. Катод и анод — грани (100) монокристалла вольфрама

диода в средневолновом радиодиапазоне. Результат этого опыта показан на рис. 3. При каждом значении тока диода $I = \text{const}$ в частотном интервале, показанном на рис. 3, с помощью осциллографа С1-40, подключенного к диоду, удалось зафиксировать 4—5 синусоид, сдвинутых по фазе. Результат опыта не меняется при изменении активных и реактивных нагрузок, включаемых во внешнюю цепь диода: опробованы различные варианты $R-L-C$ -цепочек. Численные значения R , L и C варьировались в пределах одного-двух порядков. Таким образом, можно предполагать, что причины обнаруженных колебаний обусловлены не только нелинейными эффектами в электронной плазме диода, но и особенностями явления РЭ, а следовательно, изменениями высокотемпературных свойств переходных металлов. Опыты по измерению спектров обнаруженных электромагнитных колебаний продолжаются.

3°. Полученные в настоящей работе экспериментальные результаты, как мы предполагаем, могут стать основой новых методов диагностики переходных металлов при $T > \Theta_{\text{тр}}$.

Эффекты, приводящие к тонкой структуре ВАХ (осцилляции и ступеньки), обусловлены, по всей видимости, различными типами ТД в переходных металлах: нульмерные (точечные) дефекты (вакансии, бивакансии, межузельные атомы, возможно, кластеры), одномерные дефекты (различные типы дислокаций) и т. д.

Тонкая структура ВАХ (рис. 1, 2) при $T > \Theta_{\text{тр}}$ может быть положена в основу метода высокотемпературной электронной спектроскопии переходных металлов. Тонкая структура спектров электромагнитных колебаний (рис. 3) — основа метода радиоспектроскопии переходных металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маштакова В. А., Шишкин Б. Б. Аномальные вольт-амперные характеристики вакуумных диодов с металлическими монокристаллическими электродами.— Письма в ЖЭТФ, 1979, 30, с. 99—102.
2. Добрецов Л. Н., Гомоюнова М. В. Эмиссионная электроника. М., 1966, с. 117—252.
3. Ahey A. E. Work funktion of the (100) surface of tungsten—rhenion alloys.— J. Appl. Phys., 1968, 39, p. 120—127.