

Одной из причин аномального протекания диффузии, по-видимому, является резкое отличие по характеру диффузионного поведения Nb и Zr, т. е. слишком низкое значение предэкспоненциального множителя ($\sim 10^{-4} - 10^{-5}$ см²/сек) для самодиффузии Zr. Поэтому вполне естественно ожидать, что аномальный характер диффузии в цирконии скажется на процессе взаимодиффузии между ниобием и цирконием, что и наблюдается на опыте. С увеличением концентрации ниобия энергия активации и частотный фактор увеличиваются, достигая ~ 70 ккал/моль и 10^{-2} см²/сек соответственно при 85 ат. % Nb.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бычков Ю. Ф., Розанов А. Н., Скоров Д. М. Сб. «Металлургия и металловедение чистых металлов», т. 1, 1959, стр. 179.
2. Раевская М. В., Соколова Н. Г. и др. «Вестн. Моск. ун-та», химия, № 1, 64, 1968.
3. Berghaut. «Phys. Lett.», 1, 292, 1962.
4. Ронами Г. Н., Грызунов В. И. и др. «Вестн. Моск. ун-та», физ., астрон., 11, № 3, 251, 1970.
5. Matano С. «J Japan. Phys.», 8, 109, 1933.

Поступила в редакцию
24.11 1970 г.
После переработки
21.1 1971 г.

Кафедра
низких температур

УДК 535+621.378

А. В. КОЛПАКОВ, Б. Ш. ГАЛЯМОВ, Р. Н. КУЗЬМИН

ГЕТЕРОДИНИРОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН

К настоящему времени выполнено большое число экспериментальных и теоретических работ, посвященных фотосмещению пучков света с различными когерентными свойствами в оптическом диапазоне длин волн [1—4].

Ниже обсуждается вопрос о возможности фотосмещения излучения рентгеновского диапазона длин волн ($\lambda \sim 10^{-2} - 1$ Å).

Пусть на нелинейный фотодетектор падают два пучка излучения рентгеновского диапазона длин волн. Предположим, что спектр каждого из них имеет лоренцовский вид с центрами в ω_1 и ω_2 соответственно. Будем считать, что линии имеют равную ширину γ и интенсивности и одинаково поляризованы. Для того чтобы биения были хорошо выражены, следует, чтобы $\delta\omega = \omega_1 - \omega_2 \gg \gamma$.

Фотоэлектрон, выбитый при одновременном воздействии обоих пучков излучения, будет находиться в смешанном состоянии, волновая функция которого имеет следующий вид:

$$|p\rangle = |p_1\rangle + |p_2\rangle. \quad (1)$$

Плотность электронного тока, соответствующая состоянию (1), равна

$$j = j_0 (1 + \mu \cos(\delta\omega t)), \quad (2)$$

где j_0 — плотность тока, создаваемая одним каким-либо пучком излучения, μ — коэффициент глубины модуляции.

Таким образом, фототок обнаруживает биения с разностной частотой $\delta\omega$. Оценим отношение сигнала к шуму, которое согласно [5] может быть записано так:

$$\frac{S}{N} = \frac{\eta}{\Delta f} \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} \frac{\sigma_c}{A}, \quad (3)$$

где η — квантовая эффективность фотодетектора, n_i — число квантов в 1 сек в i -том пучке, σ_c — площадь области когерентности, A — освещаемая площадь фотокатода, Δf — полоса пропускания входа радиотракта.

Положим в (3), что $\eta \approx 10^{-4}$, $n_1 \approx n_2 \approx 10^8$ *квант/сек* и $\Delta f \approx 10^4$ *гц* [6], тогда $S/N \approx \sigma_c/A$. Поскольку фототок пропорционален интенсивности, то корреляционная функция фототоков в произвольных точках 1 и 2 фотокатода, если пучки некогерентны, имеет следующий вид:

$$\langle \Delta I(1) \Delta I(2) \rangle = \left(\frac{J_1(x)}{x} \right)^2, \quad (4)$$

где $x = \frac{\rho}{\lambda R} r \approx \frac{\alpha}{\lambda} r$; $J_1(x)$ — функция Бесселя первого порядка. Из (4) следует, что

радиус площади когерентности равен $r_c \approx 0.1 \lambda/\alpha$, где α — угол в радианах, под которым виден источник с поверхности детектора. Если $\lambda \approx 10^{-8}$ *см*, а $\alpha \approx 10^{-6}$ *рад*, то $r_c \approx 10^{-3}$ *см*. Таким образом, в рентгеновском диапазоне площадь области когерентности на 6—8 порядков меньше, чем для видимого света. Параметр вырождения δ также чрезвычайно мал $\sim 10^{-16}$.

Поэтому наблюдение биений между некогерентными пучками излучения в рентгеновском диапазоне в современных условиях практически неосуществимо.

Предположим, что оба пучка полностью когерентны, тогда функция корреляции фототоков имеет отличный от (4) вид:

$$\langle \Delta I(1) \Delta I(2) \rangle = \frac{J_1(x)}{x}, \quad (5)$$

где

$$x = \frac{\gamma \rho}{cR} r \approx \frac{\gamma \alpha}{c} r.$$

Особый интерес представляет излучение мёссбауэровских изотопов, для которого довольно просто можно получить когерентные пучки с несколькими частотами. Например, для изотопа ^{57}Co ширина линии $\gamma = 10^7$ *гц*, полагая $\delta\omega \approx 10$ *гц*, из (5) найдем, что радиус области когерентности $r_c \approx 10/\alpha$ *см*. В этом случае практически всегда фототоки на всей поверхности детектора полностью когерентны, так что жесткие ограничения на коллимацию отсутствуют, а отношение сигнала к шуму оказывается порядка единицы: $S/N \approx 1$. Дальнейшее повышение этой величины возможно при использовании резонансных счетчиков, для которых квантовая эффективность $\eta \sim 10^{-4} \div 10^{-2}$ [6].

Когерентные пучки могут быть получены, например, акустической модуляцией мёссбауэровского излучения [7], так как возникающие боковые сателлиты когерентны (см., например, [8]) между собой и с центральной линией.

Из наших оценок следует, что при фотосмещении когерентных пучков мёссбауэровского излучения должны наблюдаться биения на разностной частоте, которая, например, для $\delta\omega = 10$ *гц* ^{57}Co равна 100 *Мгц*.

Интересные возможности открываются для практического применения фотосмещения когерентных компонентов мёссбауэровского излучения для гетеродинного анализа неразрешенных мёссбауэровских спектров и, поскольку изотопные источники обладают абсолютной стабильностью и воспроизводимостью, для создания стандарта частоты в метровом диапазоне радиоволн.

ЛИТЕРАТУРА

1. Forrester A. T. et al. «Phys. Rev.», **99**, 1691, 1955.
2. Magyar G., Mandel L. «Nature», **198**, 255, 1965.
3. Mandel L. «Phys. Rev.», **134**, A10, 1964.
4. Глаубер Р. Квантовая оптика и квантовая радиофизика. М., «Мир», 1966.
5. Teich M. C. «Appl. Phys. Lett.», **14**, No. 6, 1969.
6. Митрофанов К. Л., Шпинель В. С. «Приборы и техника эксперимента», № 3, 49, 1963.
7. Ruby S. L., Volef D. G. «Phys. Rev. Lett.», **5**, 5, 1960.
8. Abramam A. «Compt rend.», **250**, 4334, 1960.

Поступила в редакцию
6.8 1971 г.

Кафедра
физики твердого тела