

В.А. Чуриков

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ ГАММА-ЛАЗЕРА

Томский государственный педагогический университет

Поступила в редакцию 22.09.99 г.

Обсуждается вопрос достижения инверсии населенности уровней в системе долгоживущих ядер-изомеров путем выращивания усовидных кристаллов из обогащенной ими смеси. Такие усовидные кристаллы должны служить рабочим телом для гамма-лазера. При помощи такого способа создания инверсии в рабочем теле открывается реальная возможность получения индуцированного гамма-излучения. Предлагается ряд ядер-изомеров, на основе которых возможно создание гамма-лазера.

1. Способ получения инверсии населенности уровней в гамма-лазерах на ядерных изомерах

При практическом создании *гамма-лазера (газера)*, в котором активной средой выступает система возбужденных атомных ядер, возникает ряд сложных и нерешенных до настоящего времени проблем. На возможность использования переходов атомных ядер для создания лазера, работающего в гамма-диапазоне, было впервые указано советским физиком Л.А. Ривлиным в 1961 г. еще до создания оптического лазера [1].

Одной из проблем при создании гамма-лазера является получение инверсии населенности уровней в системе атомных ядер. Такая среда должна служить для гамма-лазера рабочим телом.

Как известно, атомные ядра при излучении гамма-квантов испытывают отдачу, которая уменьшает энергию излучаемого гамма-кванта по сравнению с поглощаемым, что приводит к сдвигу линии излучения. С ростом энергии квантов отдача растет. В гамма-диапазоне величина сдвига линии может выходить за пределы ширины линии поглощения. Поэтому излучение ядер с отдачей делает создание гамма-лазера на этих ядрах невозможным.

Решить эту проблему можно с помощью эффекта Мессбауэра, при котором, как известно, излучение атомных ядер в кристалле происходит без отдачи [2], а значит, без сдвига линии. Поэтому было предложено использовать этот эффект для устранения сдвига линии излучения гамма-квантов в гамма-лазерах.

Конкретной средой для рабочего тела гамма-лазера было предложено использовать *усовидные кристаллы*, в которых предполагается реализовать *эффект Мессбауэра* [3].

Усовидные кристаллы имеют ряд важных преимуществ, благодаря которым их можно использовать как матрицы для активных ядер. У них практически отсутствуют дефекты как точечные, так и дислокации. Это важно ввиду высокой чувствительности длины линии излучения гамма-кванта при эффекте Мессбауэра к небольшим возмущениям, которые дают дефекты в кристаллах. Дефекты приводят к уширению линии излучения гамма-кванта, что уменьшает вероятность его излучения без отдачи. Было показано, что для осуществления вынужденной генерации на изомерах концентрации дислокаций не должны превышать $3 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-3}$, а точечных дефектов – 10^{14} см^{-3} [4].

Исключительно важным является то обстоятельство, что усовидные кристаллы можно быстро выращивать до нужных размеров в течение короткого времени – от нескольких часов до нескольких десятков часов [5, 6]. Благодаря быстрому росту усовидных кристаллов в них можно получить инверсию населенности уровней, если их выращивать из смеси атомов, в которой инверсия уже есть, т.е. концентрация атомов с возбужденными гамма-радиоактивными ядрами превышает концентрацию атомов, ядра которых находятся в нижнем энергетическом состоянии. Чем выше инверсия в смеси и чем меньше время роста кристалла, тем легче в нем можно получить инверсию населенности [7].

В качестве подходящих ядер для гамма-лазеров предлагалось использовать ряд конкретных гамма-радиоактивных изомеров [8, 9], см. также [10].

Смесь, из которой выращивается рабочий кристалл, можно получить путем лазерного обогащения. Обогащать смесь радиоактивных ядер для гамма-лазеров было предложено с помощью оптических лазеров в [11]. В дальнейшем данный способ получения инверсии в смеси рассматривался в других работах [12 – 15]. Более подробно вопросы лазерного разделения нуклидов рассматриваются в [16].

После выращивания описанным способом усовидного кристалла он будет представлять собой активную среду с инверсией населенности уровней в ядрах в течение времени, пока концентрация активного изомера превышает некоторую критическую концентрацию. Это время будет зависеть от периода полураспада ядер, предназначенных для гамма-лазера, и от изначальной их концентрации после выращивания усов.

Несмотря на очевидные недостатки, описанный здесь способ получения инверсии населенности уровней для гамма-лазеров является единственным реально осуществимым в настоящее время.

Описанный способ получения инверсии населенности будем называть *врожденной инверсией*.

2. Особенности гамма-лазеров с врожденной инверсией

Очевидно, что при врожденной инверсии, ввиду отсутствия в настоящее время возможности создания резонаторов для гамма-диапазона, активную среду гамма-лазера усовидной формы можно будет использовать только для генерации, которая осуществляется в однопроходном режиме излучения. Это делает работу гамма-лазеров неудобной и дорогой.

Особенностью таких лазеров является еще и то, что в них отсутствует или не используется промежуточный уровень, через который в «обычных» лазерах осуществляется накачка. Это приводит к тому, что в лазерах с врожденной инверсией трехуровневая схема лазера вырождается в двухуровневую, а четырехуровневая в трехуровневую.

Такие лазеры можно называть *лазерами без промежуточного уровня* [6].

Вопрос о конкретных схемах гамма-лазеров, которые можно реализовать на практике, требует отдельного рассмотрения.

3. Возможные изомеры для гамма-лазеров

Опишем условия, выполнение которых необходимо не только для получения инверсии населенности в рабочем теле гамма-лазера, но и для получения в нем вынужденного гамма-излучения.

1. Высокая скорость роста усовидных кристаллов из атомов, ядрами которых являются рабочие изомеры. Это условие обычно выполняется.

2. Период полураспада изомеров значительно превышает скорость роста усовидных кристаллов. Данное условие выполняется для ряда конкретных изомеров.

3. Условия осуществления эффекта Мессбауэра на полученных усовидных кристаллах должны быть технически выполнимы.

4. Желательно иметь достаточно дешевый источник для получения естественных или (и) искусственных изомеров, пригодных для реализации гамма-лазера. Такими источниками изомеров могут быть различные ядерные реакции, например с участием нейтронов, и другие.

Рассмотрим вопрос о конкретных изомерах, которые можно использовать для создания гамма-лазеров.

Для этого нужны гамма-радиоактивные изомеры с периодом полураспада от нескольких часов и более, у которых, кроме гамма-перехода, нежелательно наличие других каналов радиоактивности, а если они есть, то их общая

вероятность должна быть как минимум на порядок меньше. Также нежелательны дополнительные линии излучения у изомера. Если таковые имеются, то их совокупная вероятность также должна быть как минимум на порядок меньше вероятности излучения рабочей линии гамма-лазера.

В табл. 1 перечислен ряд изомеров, лишенных дополнительных каналов радиоактивного распада и имеющих одну линию излучения. Эти изомеры могут рассматриваться как кандидаты для создания реального гамма-лазера [8–10].

Таблица 1

Изомеры-кандидаты для создания гамма-лазера

Изомер	Период полураспада	Энергия излучения, МэВ
$^{27}\text{Co}^{58\text{m}}$	9,15 ч	0,0249
$^{35}\text{Br}^{80\text{m}}$	4,42 ч	0,086
$^{41}\text{Nb}^{92\text{m}}$	13,6 года	0,030
$^{52}\text{Te}^{123\text{m}}$	119,7 сут	0,159
$^{65}\text{Tb}^{156\text{m}}$	5,0 ч	0,088
$^{56}\text{Ba}^{135\text{m}}$	52,7 ч	0,268
$^{76}\text{Os}^{191\text{m}}$	13,10 ч	0,074
$^{78}\text{Pt}^{193\text{m}}$	4,33 сут	0,150

Далее рассмотрим изомеры, которые по сравнению с приведенными в табл. 1 обладают некоторыми недостатками. В предлагаемых изомерах только одна линия гамма-излучения, но возможен радиоактивный распад по более чем одному каналу.

Наличие дополнительного канала радиоактивного распада усложняет задачу создания гамма-лазеров, но атомы с предлагаемыми изомерами могут обладать лучшими свойствами для выращивания из них усовидных кристаллов. При этом может оказаться, что на таких кристаллах осуществление эффекта Мессбауэра будет более простой задачей. Все это имеет принципиальное значение для создания гамма-лазеров. Кроме того, такие изомеры могут иметь более подходящий период полураспада (табл. 2) [9, 10].

Таблица 2

Изомер	Период полураспада, ч	Дополнительные каналы распада и их доля при спонтанном распаде, %	Энергия лазерной линии излучения, МэВ, и ее доля при спонтанном излучении, %
$^{30}\text{Z}^{69\text{m}}$	13,76	$\beta(0,033)$	0,4399 (> 99)
$^{39}\text{Y}^{87\text{m}}$	12,9	электронный захват (~2)	0,381 (98)
$^{41}\text{Nb}^{95\text{m}}$	86,6	$\beta(2,5)$	0,235 (97,5)

1. Ривлин Л.А. // Вопросы радиоэлектроники. 1963. Сер. I. Т. 6. С. 42.
2. Вертгейм Г.К. Эффект Мессбауэра. Принципы и применение. М.: Мир, 1966. 172 с.
3. Хохлов Р.В. // Письма ЖЭТФ. 1972. Т. 15. С. 580.
4. Ильинский Р.В., Хохлов Р.В. // УФН. 1973. Т. 110. С. 449.
5. Бережкова Г.В. Нитевидные кристаллы. М.: Наука, 1969.
6. Гиваргизов Е.И. Рост нитевидных и пластинчатых кристаллов из пара. М.: Наука, 1977.
7. Чуриков В.А. // Вестник ТГПУ. 1988. N 5. С. 55.
8. Чуриков В.А. // Труды региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Сибирская школа молодого ученого» (21–23 декабря 1998 г.). Т. IV. Физика, математика, информационные технологии. Томск: Изд-во ТГПУ, 1999. С. 58.

9. Чуриков В.А. Возможные изомеры для создания гамма-лазеров: Доклад на 4-й международной конференции «Импульсные лазеры на переходах атомов и молекул (ИЛПАМ-99)». Томск, 13–17 сентября 1999 г.
10. Физические величины: Справочник / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.
11. Летохов В.С. // ЖЭТФ. 1973. Т. 64. С. 1555.
12. Letokhov V.S. // Opt. Commun. 1973. V. 7. P. 59.
13. Гольданский В.И., Каган Ю.М. // ЖЭТФ. 1973. Т. 64. С. 90.
14. Baldwin G.C., Khokhlov R.V. // Phys. Today. 1975. N 8. P. 32.
15. Baldwin G.C., Salem J.C., Gol'danskii V.I. // Rev. Mod. Phys. 1981. V. 53. P. 687.
16. Летохов В.С. Нелинейные селективные фотопроецессы в атомах и молекулах. М.: Физматгиз, 1983.

V.A. Churikov. On Creating the Gamma-Laser.

The paper discusses the question of producing population inversion in the system of long-lived isomer nuclei by growing whiskers from the mixture enriched with them. Such whiskers must serve as a working medium for the gamma-laser. This way of producing inversion in the working medium possibly opens the way to producing induced gamma-emission. The paper presents a series of isomer nuclei, which may serve as a basis for creating the gamma-laser.