



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2005105299/15, 18.09.2002

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
18.09.2002

(30) Конвенционный приоритет:
30.07.2002 (пп.1-10) KR 2002/44828

(43) Дата публикации заявки: 10.08.2005

(45) Опубликовано: 10.02.2007 Бюл. № 4

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: FR 2790974 A, 22.09.2000. RU 96111414
A, 27.09.1998. US 5202005 A, 13.04.1993. US
5083026 A, 21.01.1992. US 5376246 A,
27.12.1994. US 5443702 A, 22.08.1995.

(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу:
28.02.2005

(86) Заявка РСТ:
KR 02/01749 (18.09.2002)

(87) Публикация РСТ:
WO 2004/011129 (05.02.2004)

Адрес для переписки:
129010, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры", пат.пов. Ю.Д.Кузнецову, рег.№ 595

(72) Автор(ы):

ДЗЕОНГ До-Йоунг (KR),
КО Кванг-Хоон (KR),
ЛИМ Гвон (KR),
КИМ Чеол-Дзунг (KR)

(73) Патентообладатель(и):

КОРЕЯ ЭТОМИК ЭНЕРДЖИ РИСЕРЧ
ИНСТИТЮТ (KR),
КОРЕЯ ХАЙДРО ЭНД НЬЮКЛИАР ПАУЭР КО.,
ЛТД. (KR)

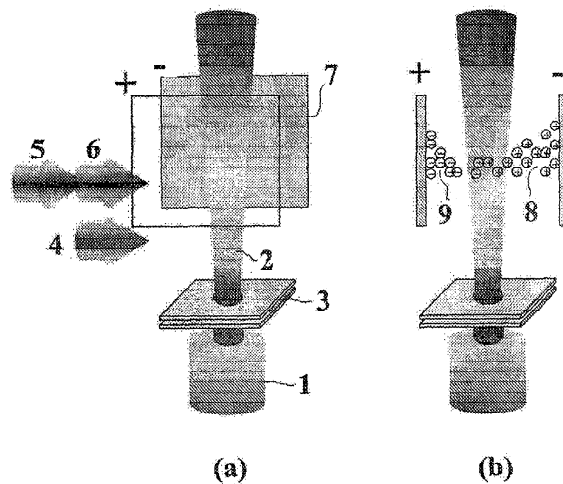
(54) МЕТОД ИЗОТОПНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ТАЛЛИЯ

(57) Реферат:

Изобретение может быть использовано в медицине при изготовлении препаратов для диагностики болезней сердца и опухолей. Способ изотопного разделения таллия включает этапы получения с помощью лазерной системы фотонов первой частоты, соответствующей длине волны 378 нм; фотонов второй частоты, соответствующей длине волны 292 нм; и фотонов третьей частоты, соответствующей длине волны в интервале от 700 нм до 1400 нм. Фотоны первой частоты получают с помощью одного или более лазеров непрерывного действия. Фотоны второй и третьей частот получают с помощью одного или более импульсных лазеров. Фотоны первой, второй и третьей частот применяют к атомному пару, содержащему множество изотопов таллия. Фотоны первой

частоты изотопно-селективно накапливают множество атомов таллия, находящихся в основном состоянии, и переводят их через возбужденное состояние в метастабильное с энергией 7793 см^{-1} через первое возбужденное состояние с энергией $26477,6 \text{ см}^{-1}$ относительно нулевой энергии основного состояния. Фотоны второй частоты возбуждают множество атомов таллия в метастабильном состоянии до промежуточного состояния, которое представляет собой второе возбужденное состояние, с энергией $42049,0 \text{ см}^{-1}$ или $42011,4 \text{ см}^{-1}$ относительно нулевой энергии основного состояния. Фотоны третьей частоты ионизируют множество атомов, находящихся в промежуточном состоянии. Накопление указанных изотопных ионов осуществляют приложением электрического поля к

указанному пару. Изобретение позволяет эффективно разделять изотопы таллия с использованием малогабаритного оборудования. 9 з.п. ф-лы, 7 ил.



ФИГ.1

RU 2 2 9 2 9 4 0 C 2

RU 2 2 9 2 9 4 0 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 2005105299/15, 18.09.2002

(24) Effective date for property rights: 18.09.2002

(30) Priority:
30.07.2002 (cl.1-10) KR 2002/44828

(43) Application published: 10.08.2005

(45) Date of publication: 10.02.2007 Bull. 4

(85) Commencement of national phase: 28.02.2005

(86) PCT application:
KR 02/01749 (18.09.2002)

(87) PCT publication:
WO 2004/011129 (05.02.2004)

Mail address:
129010, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, str.3,
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i
Partnery", pat.pov. Ju.D.Kuznetsovu, reg.№ 595

(72) Inventor(s):

DZEONG Do-Joung (KR),
KO Kvang-Khoon (KR),
LIM Gvon (KR),
KIM Cheol-Dzung (KR)

(73) Proprietor(s):

KOREJa EhTOMIK EhNERDZhi RISERCh
INSTIT'JuT (KR),
KOREJa KhAJDRO EhND N'JuKLIAR PAUEhR
KO., LTD. (KR)

(54) ISOTOPE METHOD FOR SEPARATING THALLIUM

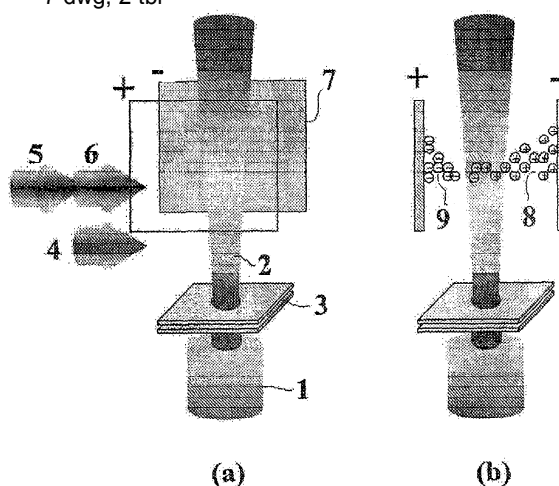
(57) Abstract:

FIELD: medicine.

SUBSTANCE: method is divided into stages and involves producing photons of the first frequency corresponding to wavelength of 378 nm; photons of the second frequency corresponding to wavelength of 292 nm; photons of the third frequency corresponding to wavelength from 700 to 1400 nm. Photons of the first frequency are produced with one or more continuous radiation laser. Photons of the second and third frequency are produced with one or more pulsating radiation laser. The first, second and third frequency photons are applied to atomic vapor containing several Thallium isotopes. Photons of the first frequency pump Thallium isotope assembly in base state and transfer them to metastable state with energy level of 7793 cm^{-1} over the first excited state distinguished by energy level of 26477.6 cm^{-1} relative to zero energy of the basic state.

EFFECT: high reliability of diagnosis.

7 dwg, 2 tbl



ФИГ.1

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение представляет собой метод разделения изотопов таллия, а именно лазерный метод разделения изотопов таллия с использованием лазерного луча.

Уровень техники

В природе таллий содержит два изотопа: ^{203}Tl (29.5%) и ^{205}Tl (70.5)%. ^{203}Tl используется в качестве исходного материала для получения радиоизотопа ^{201}Tl .

Изотоп ^{201}Tl получают в циклотроне облучением обогащенной ^{203}Tl мишени протонным лучом с энергией 19-31 МэВ в соответствии с реакцией $^{203}\text{Tl}(p, 3n)^{201}\text{Tl}$. $^{201}\text{TlCl}$ является радиопрепаратом для SPECT (однофотонной эмиссионной компьютерной томографии), применяемой для диагностики болезней сердца и опухолей.

Электромагнитный метод является уникальным, коммерчески доступным методом разделения изотопов таллия. Принципиально метод достаточно прост. При прохождении между полюсами магнита моноэнергетический луч ионов, присутствующих в природном таллии, расщепляется на два потока в соответствии с их моментом количества движения, каждый поток включает в себя один вид изотопов и характеризуется собственным радиусом кривизны. Ловушки на концах полукруглых траекторий улавливают гомогенные потоки. Общеизвестно, что электромагнитное разделение представляет собой наиболее гибкий метод с большой экспериментальной базой для любой технологии разделения, но, к сожалению, оно имеет низкий выход и высокую производственную стоимость.

Метод лазерного изотопного разделения (ЛИР), использующий изотопно-селективные фотоионизационные процессы в атомах, рассматривается как альтернатива, не имеющая недостатков, свойственных электромагнитному методу. Метод был продемонстрирован на ряде элементов, включая ртуть, гадолиний и другие элементы. Патенты США №4793307 (1988), 5202005 (1993), 5376246 (1994) и 5443702 (1995) относятся к лазерному разделению изотопов ртути (Hg), гадолиния (Gd), циркония (Zr) и эрбия (Er) соответственно. Опубликованный японский патент №1999-99320A предлагает новый путь фотоионизации, отличающийся от предложенного в патенте США №4793307 (1988).

Чтобы определить, является ли ЛИР для какого-либо элемента технически возможным или нет, необходимо детально рассмотреть различные проблемы, включая путь ионизации, используемые лазеры и атомный пар. Окончательная оценка применимости ЛИР требует знания изотопных сдвигов, сверхтонкой структуры, уровней энергии, углового момента для каждого уровня, времени жизни уровней и т.д. Для тех случаев, когда использование ЛИР технически возможно, должна быть проведена экономическая оценка с учетом стоимости методов, конкурирующих с данным методом, что требует знаний физических и химических свойств элемента, необходимой мощности лазера, изотопной селективности, ионизационной эффективности процесса фотоионизации и т.д.

Таллий не имеет доступных уровней автоионизации и изотопные сдвиги уровней энергии таллия относительно малы по сравнению с другими элементами. Соответственно, фотоионизация атомов таллия с использованием автоионизационных уровней невозможна. Также может быть очень мала изотопная селективность для обычного ступенчатого фотоионизационного процесса, который был использован в патентах США №4793307 (1988) и 5443702 (1995). Кроме того, изотопы таллия нельзя разделить, используя правило отбора угловых моментов, примененное в патенте США №5202005 (1993), так как изотопы ^{203}Tl и ^{205}Tl имеют равные ядерные магнитные моменты.

В японском патенте №2000-262866A для разделения изотопов таллия используется метод изотопно-селективного возбуждения и ионизация полем, описанные в патенте США №5945649 для удаления ^{110}Pb из изотопов свинца. Согласно этому патенту атомы таллия, находящиеся в основном состоянии, изотопно-селективно возбуждались до ридберговского состояния с энергией около 49000 см^{-1} двумя лазерами с длиной волны 377,6 нм и 443,7 нм. Затем они подвергались ионизации внешним электрическим полем. Во время процесса возбуждения обеспечивалось рассогласование около 1 ГГц между лазерными частотами и промежуточным уровнем энергии, равным 26477 см^{-1} . Этот процесс является 2-цветным 2-

фотокным процессом возбуждения. Чтобы получить высокую изотопную селективность, а также высокую эффективность возбуждения при использовании процесса 2-фотонного возбуждения, лазеры должны иметь ширину полосы, практически ограниченную Фурье преобразованием, и должны быть направлены навстречу друг другу. Смушение Штарка, вызванное рассогласованием от промежуточного уровня, уменьшает интенсивность 2-фотонного возбуждения. Чтобы избежать этого, мощность лазера и частота должны очень тщательно контролироваться в соответствии с условиями пи-импульса, а также лазерные импульсы должны точно перекрываться. Поскольку практически невозможно иметь перекрывающиеся лазерные импульсы на всем отрезке встречного распространения в среде, снижение эффективности возбуждения неизбежно. Кроме того, в случае массового производства изотопов таллия образующаяся вначале плазма может экранировать внешнее электрическое поле и, следовательно, уменьшать интенсивность ионизации полем. Хотя приведенные в японском патенте №2000-262866А данные могут быть технически выполнимы, однако без устранения перечисленных недостатков этот метод не может быть внедрен в производство.

Следовательно, задачей настоящего изобретения является решение упомянутых выше проблем, а также предложение улучшенного пригодного для практического применения метода разделения изотопов таллия.

РАСКРЫТИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В соответствии с настоящим изобретением предлагается способ разделения изотопов таллия в атомном паре, содержащем множество изотопов таллия. Указанный способ включает в себя следующие этапы, на которых:

(а) получают фотоны первой частоты с помощью лазерной системы, причем длина волны, соответствующая указанной первой частоте, приблизительно равна 378 нм;

(b) получают фотоны второй частоты с помощью указанной лазерной системы, причем длина волны, соответствующая указанной второй частоте, приблизительно равна 292 нм;

(с) получают фотоны третьей частоты с помощью указанной лазерной системы, причем длина волны, соответствующая указанной третьей частоте, находится в интервале от 700 нм до 1400 нм;

(d) применяют указанные фотоны указанных первой, второй и третьей частот к указанному пару, причем указанная первая частота изотопно-селективно возбуждает множество атомов таллия, находящихся в основном состоянии, через первое возбужденное состояние в метастабильное состояние, причем указанные фотоны указанной второй частоты возбуждают множество атомов таллия в метастабильном состоянии, переводя их в промежуточное резонансное состояние, которое представляет собой второе возбужденное состояние, в котором указанные фотоны указанной третьей частоты ионизируют множество атомов, находящихся в указанном промежуточном резонансном состоянии, через континуум состояний;

(е) собирают указанные ионы изотопов.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Преимущества настоящего изобретения могут быть лучше поняты из подробного описания предпочтительной реализации изобретения, иллюстрированной чертежами, где на фиг.1 представлена концептуальная диаграмма метода лазерного разделения изотопов таллия в соответствии с данным изобретением;

(а) вид спереди и (b) вид сбоку;

на фиг.2 представлена частичная диаграмма энергетических уровней атомов таллия;

на фиг.3 представлены изотопные сдвиги и сверхтонкая структура изотопов таллия;

на фиг.4 представлены экспериментально измеренные спектры изотопов таллия после оптической накачки с использованием лазера непрерывного действия (НД), который имеет Гаусово распределение по интенсивности (полная ширина на половине максимума: 10 мм) и выходную мощность 20 мВт;

на фиг.5 представлен расчетный спектр оптической накачки изотопов таллия с использованием НД лазера, который имеет Гаусово распределение интенсивности (полная

ширина на половине максимума: 10 мм) и выходную мощность 200 мВт;

на фиг.6 представлены измеренные сечения фотоионизации $7\ ^2D_{5/2}$ уровня атомов таллия при длине волны 1065 нм с использованием лазера Nd:YAG;

на фиг.7 представлены наблюдаемые масс-спектры изотопно-селективной ионизации атомов таллия;

(а) изображен масс-спектр неселективной фотоионизации атомов таллия,

(б) изображен масс-спектр, где частота лазера оптической накачки является резонансной для изотопов ^{205}Tl ,

(с) изображен масс-спектр, где частота лазера оптической накачки является резонансной для изотопов ^{203}Tl .

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Здесь описывается процесс изотопно-селективной фотоионизации и устройство для отделения изотопа таллия от природного таллия, который включает в себя изотопно-селективную лазерную накачку, за которой следует фотоионизация атомов таллия и затем электростатическая экстракция ионов. Преимуществами этой схемы являются большое сечение лазерной накачки, а также большое сечение фотоионизации и, как следствие, умеренный поток энергии лазерного излучения. Согласно этой схеме возможна селективная и эффективная фотоионизация мишени с изотопами таллия при использовании как изотопно-селективной лазерной накачки (ИСЛН) мишени для перевода атомов в метастабильное состояние, так и резонансной фотоионизации (РФ) метастабильных атомов таллия. В последнем процессе метастабильные атомы таллия фотоионизируются через резонансное возбужденное состояние до континуума состояния. Эффективная ИСЛН целевых изотопов может быть достигнута с помощью одночастотного НД лазера. Импульсный УФ лазер, а также импульсный ИК лазер высокой мощности используются для РФ процесса.

Лазерное разделение изотопа ^{203}Tl , основанное на этом изобретении, экономически более эффективно, чем традиционное электромагнитное разделение. Данное изобретение также может преодолеть ограниченные возможности японской патентной публикации №2000-262866А. В заключение следует отметить, что настоящее изобретение делает возможным отделение изотопа ^{203}Tl в промышленных масштабах даже на относительно малогабаритном оборудовании и на коммерчески доступных лазерах.

Далее будет подробно описан пример настоящего изобретения для метода лазерного изотопного разделения таллия с рассмотрением специфических чертежей и данных, предназначенных для лучшего понимания изобретения, но не для его ограничения.

Фиг.1 иллюстрирует концептуальную диаграмму метода лазерного изотопного разделения таллия. Поток атомов таллия 2 генерируется при нагревании таллия до 800-1000°C с использованием термического нагревателя 1, формируется в направленный поток коллиматором 3 и изотопно-селективно накачивается с помощью НД лазера 4, переходя в метастабильное состояние. Метастабильные изотопы таллия фотоионизируются УФ лазером 5 и импульсным ИК лазером 6. Фотоионизированные ионы таллия 8 и электроны 9, генерируемые во время фотоионизации, отделяются от потока атомов в экстракторе 7 при смещении внешним электрическим полем.

На фиг.2 представлена частичная диаграмма энергетических уровней атомов таллия, когда ионы таллия разделяются в соответствии с настоящим изобретением. Целевые изотопы в основном состоянии $|1\rangle$ оптически и изотопно-селективно возбуждаются до уровня $|2\rangle$ с помощью НД лазера. Возбужденные изотопы на уровне $|2\rangle$ могут либо потерять энергию и перейти в основное состояние на уровень $|1\rangle$ в процессе спонтанного распада (переход а на фиг. 2), или перейти в метастабильное состояние $|3\rangle$ в результате оптической лазерной накачки (переход б на фиг. 2). В то время как целевые изотопы находятся в метастабильном состоянии $|3\rangle$, изотопы, перешедшие в основное состояние $|1\rangle$, могут быть снова возбуждены до состояния $|2\rangle$. Поскольку время жизни метастабильного состояния достаточно большое (около 250 мксек), то большинство изотопов мишени могут вследствие лазерной накачки перейти в метастабильное состояние

$|3\rangle$ при повторяющихся процессах распада и возбуждения. С другой стороны, нецелевые изотопы не возбуждаются и остаются в основном состоянии. В результате может быть достигнута высокая эффективность оптической лазерной накачки, а также высокая селективность для целевых изотопов. Целевые изотопы, находящиеся в метастабильном состоянии $|3\rangle$, могут фотоионизироваться через резонансное возбужденное состояние (второе возбужденное состояние), $|4\rangle$ в континуум состояний $|5\rangle$ с помощью импульсных лазеров.

Атомы таллия имеют такую простую электронную структуру, что только три энергетических состояния существуют ниже уровня энергии 30000 см^{-1} , а именно: основное состояние ($6^2P_{1/2}$: 0 см^{-1}), метастабильное состояние ($6^2P_{3/2}$: 7793 см^{-1}) и (первое) возбужденное состояние ($7^2S_{1/2}$: $26477,6\text{ см}^{-1}$). Ионы таллия имеют ряд преимуществ для эффективной лазерной накачки. К ним относятся:

- (а) большой электрический дипольный момент перехода между $6^2P_{1/2}$ и $6^2S_{1/2}$,
- (б) очень короткое время жизни уровня $6^2S_{1/2}$ (7,5 нс),
- (с) относительная частота переходов между $6^2S_{1/2}$ и метастабильным состоянием больше, чем частота переходов между $6^2S_{1/2}$ и основным состоянием.

Следовательно, оптическая лазерная накачка атомов таллия в метастабильное состояние может быть легко достигнута, если частота НД лазера (около 378 нм по длине волны) является резонансной для перехода между уровнями $6^2P_{1/2}$ и $6^2S_{1/2}$. При нагревании таллия до температуры, при которой образуется поток атомов таллия, некоторая часть атомов находится в метастабильном состоянии, однако, поскольку величина заселенности метастабильного уровня атомов таллия меньше чем 10^{-3} , начальная заселенность метастабильного уровня атомов не влияет на изотопную селективность в данном температурном интервале.

На фиг.3 представлены изотопные сдвиги и сверхтонкая структура изотопов таллия, связанные с переходами при лазерной накачке. Изотопный сдвиг перехода между $6^2P_{1/2}$ и $7^2S_{1/2}$ примерно равен 1,6 ГГц и около 1,5 ГГц для $F_g=1 \rightarrow F_e=1$ и $F_g=0 \rightarrow F_e=1$ соответственно. Следовательно, высокоселективная оптическая лазерная накачка целевых изотопов в метастабильное состояние возможна, если Допплерово уширение атомного потока меньше, чем несколько сотен МГц (например, около 100 МГц), и одночастотный НД лазер используется как лазер оптической накачки.

На фиг.4 представлены экспериментально измеренные спектры оптической лазерной накачки для перехода $F_g=1 \rightarrow F_e=1$ при использовании НД лазера с распределением Гаусса по интенсивности (полная ширина на половине максимума: 10 мм) и выходной мощностью 20 мВт. И на фиг.5 представлены рассчитанные спектры оптической лазерной накачки для того же перехода с допущением, что НД лазер имеет распределение Гаусса по интенсивности (полная ширина на половине максимума: 10 мм) и выходную мощность 200 мВт. Ясно показано, что изотопная селективность в таком процессе оптической лазерной накачки очень высокая.

В то время как сверхтонкое расщепление основного состояния приблизительно 21 ГГц, расщепление метастабильного уровня составляет около 500 МГц. Следовательно, можно ожидать, что сверхтонкая структура не влияет на эффективность фотоионизации. Даже при использовании лазера с относительно низкой энергией метастабильные атомы таллия могут быть эффективно возбуждены до состояния $7^2D_{3/2}$ ($42011,4\text{ см}^{-1}$) или до состояния $7^2D_{5/2}$ ($42049,0\text{ см}^{-1}$) вследствие их больших электрических дипольных моментов. Длина волны перехода при возбуждении составляет примерно 292 нм. На Фиг.6 представлены измеренные сечения фотоионизации $7^2D_{5/2}$ Уровня атомов таллия при длине волны 1064 нм на Nd:YAG лазере. Сечение фотоионизации $2,7 \times 10^{-17}$ достаточно большое для того, чтобы более 80% атомов таллия, находящихся в возбужденном состоянии $7^2D_{5/2}$, могли быть ионизованы Nd:YAG лазером с плотностью энергии в импульсе $40\text{ мДж/импульс/см}^2$. Поскольку потенциал ионизации (ПИ) атомов таллия около

49266,7 см⁻¹, эффективную фотоионизацию можно ожидать при использовании ИК лазера небольшой энергии с длиной волны в интервале 700-1400 нм, что соответствует интервалу энергии от 49266,7 см⁻¹ до 55000 см⁻¹.

На фиг.7 представлены время-пролетные (ВП) масс-спектры изотопно-селективной фотоионизации атомов таллия, проведенной в соответствии с данным изобретением. Когда частота НД лазера сканируется и при этом частоты импульсного лазера фиксируются, возможна фотоионизация каждого изотопа таллия.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Для производства ²⁰³Tl изотопа с мощностью 1 кг/год установлено, что лазеры должны обладать энергией 500 мВт, 4 Вт и 500 Вт для НД лазера оптической накачки, УФ импульсного лазера и ИК импульсного лазера соответственно. Для импульсного лазера требуется частота импульсов 5 кГц или более и ширина импульса - несколько десятков нс. Такие лазерные системы могут быть сконструированы при использовании коммерчески доступных лазеров.

Формула изобретения

1. Способ отделения изотопа таллия в атомном паре, содержащем множество изотопов таллия, указанный метод включает в себя этапы, на которых

(а) получают фотоны первой частоты лазерной системой, причем длина волны, соответствующая указанной первой частоте, равна 378 нм;

(b) получают фотоны второй частоты указанной лазерной системой, причем длина волны, соответствующая указанной второй частоте, приблизительно равна 292 нм;

(с) получают фотоны третьей частоты указанной лазерной системой, причем длина волны, соответствующая указанной третьей частоте, находится в интервале от 700 до 1400 нм;

(d) применяют указанные фотоны указанных первой, второй и третьей частот к указанному пару указанного таллия, где указанные фотоны указанной первой частоты изотопно-селективно накачивают множество атомов таллия, находящихся в основном состоянии, переводя их через возбужденное состояние в метастабильное, причем указанные фотоны указанной второй частоты возбуждают множество атомов таллия в метастабильном состоянии до промежуточного резонансного состояния, которое представляет собой второе возбужденное состояние, и где указанные фотоны указанной третьей частоты ионизируют множество атомов, находящихся в указанном промежуточном резонансном состоянии, через континуум состояний; и

(е) накапливают указанные ионы изотопов.

2. Способ по п.1, в котором указанные фотоны указанной первой частоты получают с помощью одного или более лазеров непрерывного действия.

3. Способ по п.1, в котором указанная накачка осуществляется при использовании указанных фотонов указанной первой частоты для оптической и изотопно-селективной накачки указанных изотопов таллия, переводя их из основного состояния через первое возбужденное состояние с энергией 26477,6 см⁻¹ относительно нулевой энергии указанного основного состояния в метастабильное состояние с энергией 7793 см⁻¹ относительно нулевой энергии указанного основного состояния.

4. Способ по п.1, в котором указанные фотоны указанной второй частоты получают одним или более импульсными лазерами.

5. Способ по п.1 или 4, в котором указанный этап возбуждения фотонами второй частоты до промежуточного резонансного состояния осуществляется возбуждением атомов таллия, находящихся в метастабильном состоянии, до указанного второго возбужденного состояния с энергией 42049,0 см⁻¹ относительно нулевой энергии указанного основного состояния.

6. Способ по п.1 или 4, в котором указанный этап возбуждения фотонами второй частоты до промежуточного резонансного состояния осуществляется возбуждением атомов таллия, находящихся в метастабильном состоянии, до указанного второго возбужденного

состояния с энергией $42011,4 \text{ см}^{-1}$ относительно нулевой энергии указанного основного состояния.

7. Способ по п.1, в котором указанные фотоны указанной третьей частоты получают с помощью одного или более импульсных лазеров.

5 8. Способ по п.1, в котором указанный этап ионизации фотонами третьей частоты осуществляется с помощью указанных фотонов указанной третьей частоты для ионизации атомов в указанном втором возбужденном состоянии с энергией $42049,0 \text{ см}^{-1}$ до континуума состояний с энергией в интервале от $49266,7$ до 55000 см^{-1} относительно нулевой энергии указанного состояния.

10 9. Способ по п.1, в котором указанный этап ионизации фотонами третьей частоты осуществляется с помощью указанных фотонов указанной третьей частоты для ионизации атомов в указанном втором возбужденном состоянии с энергией $42011,4 \text{ см}^{-1}$ до континуума состояний с энергией в интервале от $49266,7$ до 55000 см^{-1} относительно нулевой энергии указанного основного состояния.

15 10. Способ по п.1, в котором этап накопления изотопных ионов включает в себя приложение электрического поля к указанному пару.

20

25

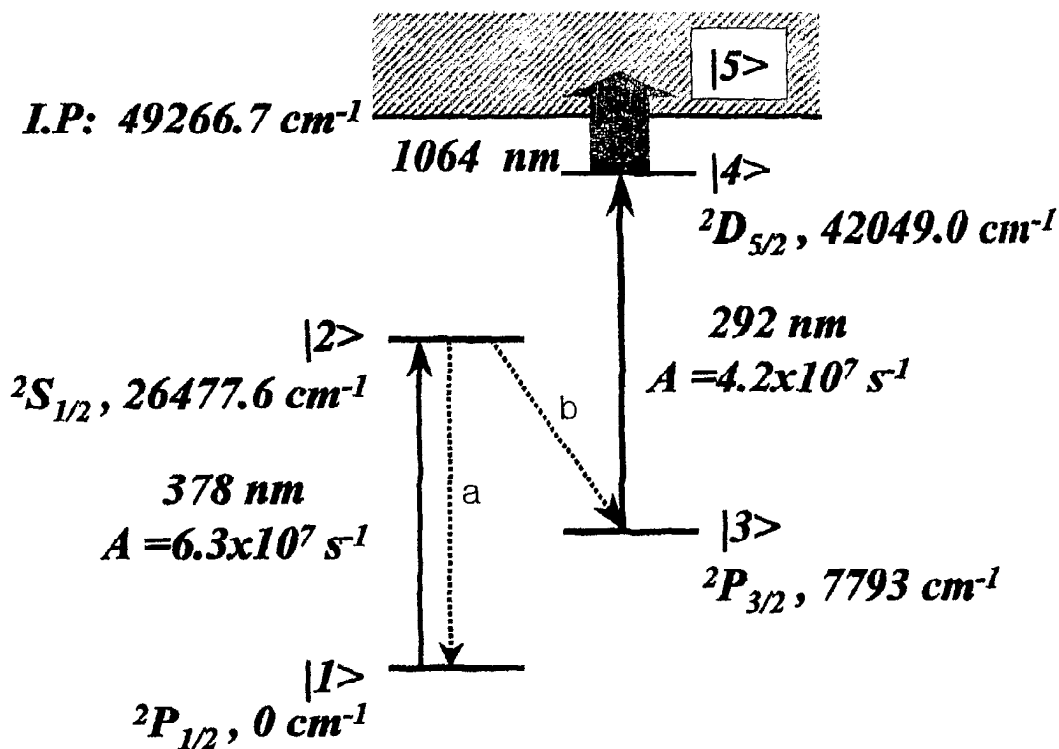
30

35

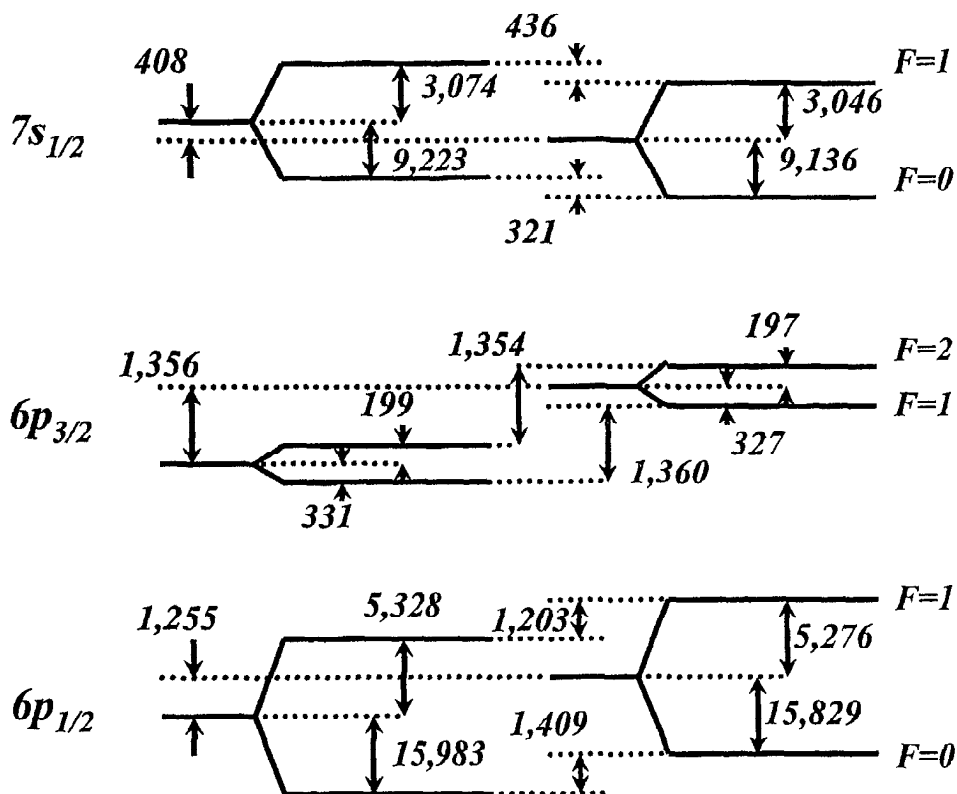
40

45

50

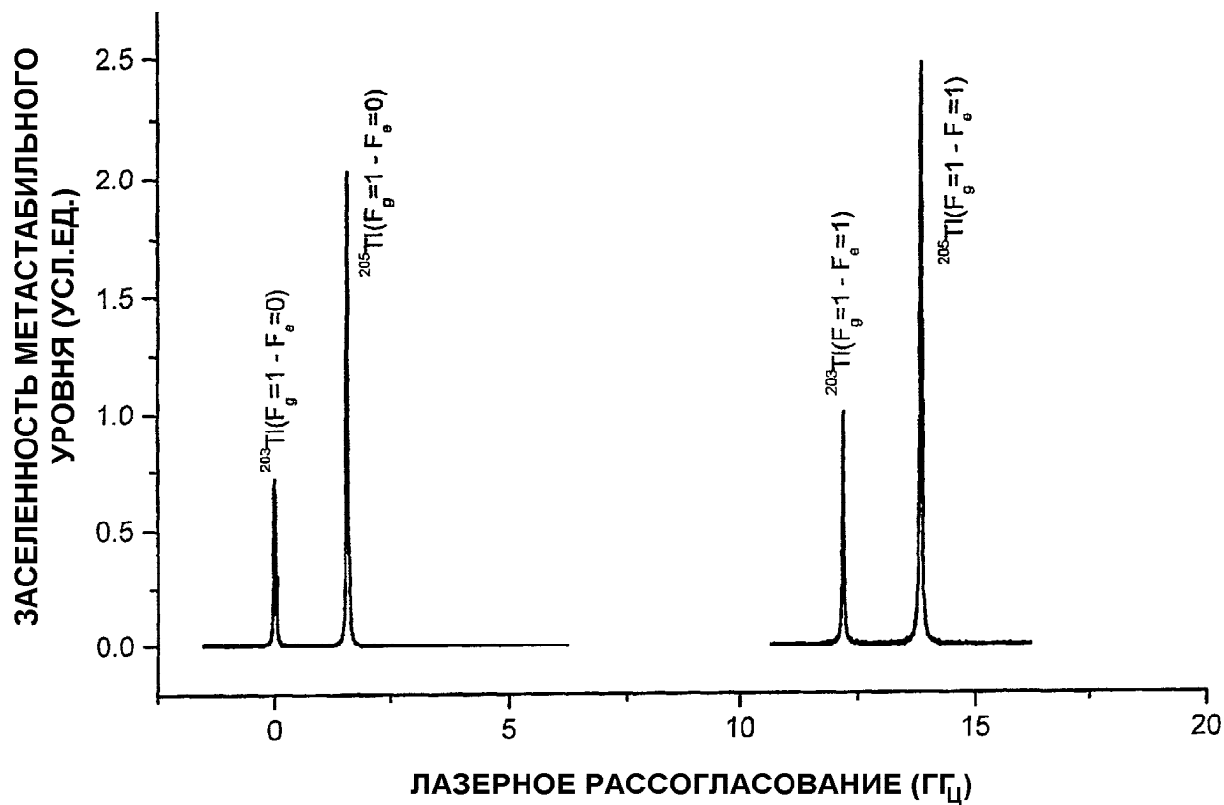


ФИГ.2

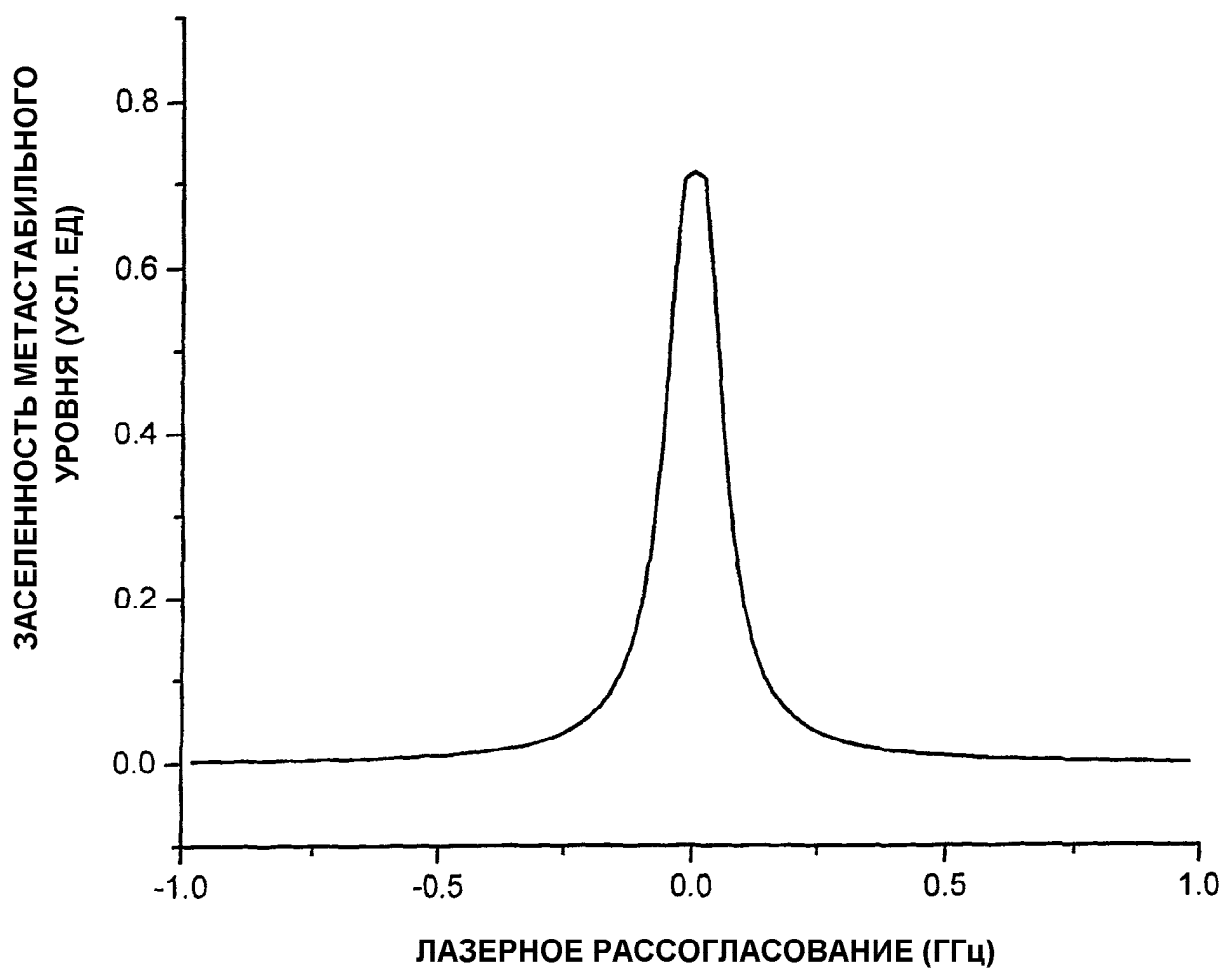


^{205}Tl ^{203}Tl
ЭНЕРГИЯ ДАНА В МГц

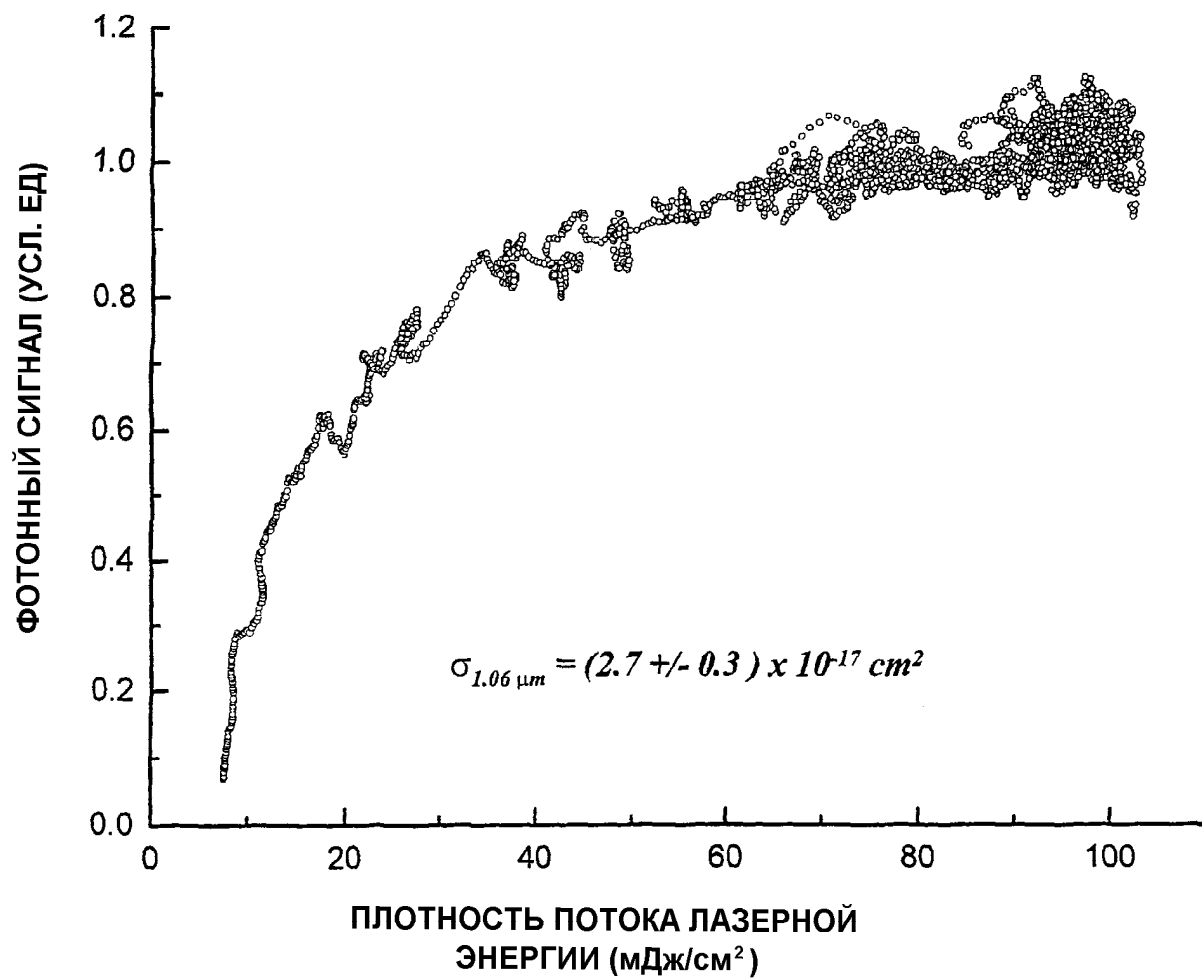
ФИГ.3

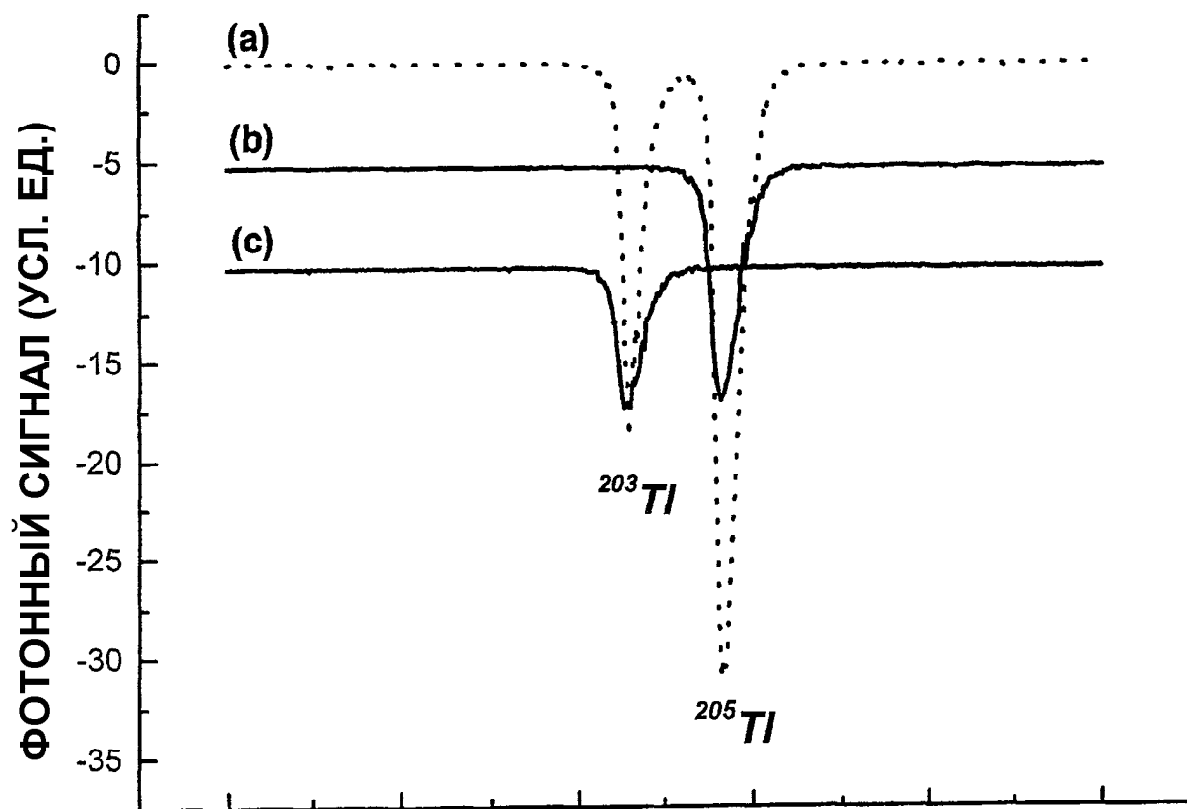


ФИГ.4



ФИГ.5

**ФИГ.6**



МАССА (УСЛ. ЕД.)

ФИГ.7