



(19) **KG** (11) **1684** (13) **C1**
(51) **G01J 5/08** (2014.01)
B82B 1/00 (2014.01)

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
И ИННОВАЦИЙ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ к патенту Кыргызской Республики под ответственность заявителя (владельца)

(21) 20130073.1

(22) 19.08.2013

(46) 31.10.2014, Бюл. № 10

(71) Кыргызско - Российский Славянский университет (KG)

(72) Молдосанов К. А.; Лелевкин В. М.; Кайрыев Н. Ж. (KG); Кавеев А. К. (RU)

(73) Кыргызско - Российский Славянский университет (KG)

(56) US № 20120032082, кл. G01J 5/10, 5/08, 2012

(54) Терагерц-инфракрасный конвертер

(57) Изобретение относится к области оптической техники, предназначенной для визуализации терагерцевого (ТГц) излучения, и может быть использовано при создании приборов для регистрации и анализа ТГц излучения, ранней диагностики рака, а также для обнаружения предметов, скрытых под одеждой граждан, в аэропортах, на вокзалах, стадионах и в других публичных местах.

Задачей изобретения является упрощение конструкции при повышении чувствительности, расширении диапазона частот преобразуемого ТГц излучения и повышении пространственного разрешения конвертера.

Поставленная задача решается в терагерц-инфракрасном конвертере, состоящем из основания с преобразователями терагерцевого излучения в инфракрасное излучение, причем основание выполнено в виде матрицы, прозрачной в ТГц и ИК диапазонах частот, а преобразователи равномерно распределены в её объёме и выполнены в виде наночастиц из медно-никелевого сплава, причём содержание никеля в медно-никелевом сплаве составляет 40-70 мас. %, при этом диаметр наночастиц определяют по формуле:

$$D \approx 1,9 \cdot a \cdot [(W/\Delta E)+1]^{1/3} \quad (1)$$

где D - диаметр наночастиц (нм),

a - период решётки медно-никелевого сплава (нм),

W - ширина зоны d -электронов медно-никелевого сплава (мэВ),

ΔE - энергетический зазор между уровнями электронов в d -зоне (мэВ), где основание выполнено в виде подложки, прозрачной в терагерцевом диапазоне частот, а преобразователи расположены на стороне подложки, противоположной источнику терагерцевого излучения или обращённой к источнику терагерцевого излучения.

1 н. п. ф., 2 з. п. ф., 5 фиг.

Изобретение относится к области оптической техники, предназначенной для визуализации терагерцевого (ТГц) излучения, и может быть использовано при создании приборов для регистрации и анализа ТГц излучения, ранней диагностики рака, а также для обнаружения предметов, скрытых под одеждой граждан, в аэропортах, на вокзалах, стадионах и в других публичных местах.

Известен болометрический терагерц-инфракрасный конвертер для формирования изображений источников ТГц излучения [Bolometric THz-to-IR converter for terahertz imaging / Kuznetsov S. A., Paulish A. G., Gelfand A. V., Lazorskiy P. A. and Fedorinin V. N. // Applied Physics Letters, - 2011.

vol. 99, - Р. 99-101], состоящий из поглотителя ТГц излучения, включающего ультратонкую (толщиной не менее чем в 50 раз меньше длины волны ТГц излучения) систему резонаторов из разрезных колец на диэлектрической подложке, и металлический слой, примыкающий к обратной стороне диэлектрической подложки, и эмиттера из материала с высокой излучательной способностью в ИК диапазоне, примыкающего к металлическому слою. При резонансном поглощении ТГц излучения определённым участком поглотителя (резонатором на базе разрезного кольца) происходит выделение теплоты в участке металлического слоя, расположенного под соответствующим разрезным кольцом, что вызывает эмиссию ИК излучения с участка эмиттера, примыкающего к участку металлического слоя, расположенного под данным разрезным кольцом. Эмитированное ИК излучение далее детектируется ИК камерой.

Недостатком известного терагерц-инфракрасного конвертера является сложность конструкции, обусловленной тем, что топологический рисунок частотно-избирательной поверхности поглотителя состоит из множества разрезных кольцевых резонаторов размером $\approx 100 \text{ мкм} \times 100 \text{ мкм}$. Кроме того, из-за большого (≈ 10) отношения размера кольцевого резонатора к зазору между резонаторами происходит перекрытие температурных полей под соседними разрезными кольцевыми резонаторами в металлическом слое, который нагревает эмиттер. Из-за этого изображение размывается и ухудшается пространственное разрешение конвертера. Также за счет того, что функции поглотителя, нагревателя и эмиттера разделены между тремя слоями, снижается эффективность преобразования из-за потерь энергии в каждом слое. Недостатком является также узкий диапазон рабочих частот (0,3-0,4 ТГц).

За прототип выбрано устройство для создания изображения в ТГц лучах [US № 20120032082, кл. G01J 5/10, 5/08, 2012], в котором терагерц-инфракрасный конвертер состоит из основания со множеством одинаковых преобразователей ТГц излучения в ИК излучении, организованных в виде строк и столбцов математической матрицы. Материалом для преобразователей служит вода, стекло, углеродные нанотрубки или материал, содержащий их. Размер преобразователей от 50 до 500 мкм. В этом устройстве каждый преобразователь ТГц излучения в ИК излучение объединяет в себе функции, как поглотителя, так и эмиттера.

Недостатками выбранного за прототип устройства являются сложность конструкции, требующая геометрически правильного выстраивания преобразователей в виде строк и столбцов математической матрицы, а также низкая чувствительность вследствие необходимости нагревать ТГц излучением крупные (50-500 мкм) преобразователи, размер которых обуславливает и низкое пространственное разрешение.

Задачей изобретения является упрощение конструкции при повышении чувствительности, расширении диапазона частот преобразуемого ТГц излучения и повышении пространственного разрешения конвертера.

Поставленная задача решается в терагерц-инфракрасном конвертере, состоящем из основания с преобразователями терагерцевого излучения в инфракрасное излучение, причем основание выполнено в виде матрицы, прозрачной в ТГц и ИК диапазонах частот, а преобразователи равномерно распределены в её объёме и выполнены в виде наночастиц из медно-никелевого сплава, причём содержание никеля в медно-никелевом сплаве составляет 40-70 мас. %, при этом диаметр наночастиц определяют по формуле:

$$D \approx 1,9 \cdot a \cdot [(W/\Delta E)+1]^{1/3} \quad (1)$$

где D - диаметр наночастиц (нм),

a - период решётки медно-никелевого сплава (нм),

W - ширина зоны d -электронов медно-никелевого сплава (мэВ),

ΔE - энергетический зазор между уровнями электронов в d -зоне (мэВ), где основание выполнено в виде подложки, прозрачной в терагерцевом диапазоне частот, а преобразователи расположены на стороне подложки, противоположной источнику терагерцевого излучения или обращенной к источнику терагерцевого излучения.

Выполнение основания в виде матрицы с равномерно размещенными преобразователями в виде наночастиц позволяет повысить чувствительность терагерц-инфракрасного конвертера за счёт того, что трёхмерность матрицы допускает увеличение объёмной концентрации преобразователей и, благодаря этому - увеличение плотности потока преобразованного (ИК) излучения.

Выполнение основания в виде подложек упрощает двухмерные терагерц-инфракрасные конвертеры.

Выполнение преобразователей в виде наночастиц из медно-никелевого сплава с содержанием никеля 40-70 мас. % и диаметром, определяемым по формуле (1), позволяет:

(а) упростить конструкцию терагерц-инфракрасного конвертера, так как исключает необходимость выстраивания наночастиц в геометрически правильном порядке в виде строк и столбцов математической матрицы или в виде топологического рисунка;

(б) повысить чувствительность терагерц-инфракрасного конвертера, так как в объёмном медно-никелевом сплаве, в области содержания никеля в пределах 40-70 мас. %, наблюдается повышенная интенсивность рассеяния электронов с максимумом интенсивности рассеяния электронов в сплаве состава 53 мас. % Ni, 47 мас. % Cu, где пик плотности состояний электронов находится на уровне Ферми, реализуется наибольшая интенсивность диссипации энергии ТГц излучения в теплоту. Также, за счет малого диаметра ($1,6 \div 3$ нм), определенного по формуле (1), наночастицы требуют меньшей выделяемой мощности для их нагрева до температурного порога чувствительности ИК камеры;

(в) повысить эффективность преобразования ТГц излучения в ИК излучение, так как поглощение квантов ТГц излучения обеспечивается участием вибрационных мод, которые количественно доминируют в распределении вибрационных мод по энергии в медно-никелевом сплаве (с энергиями $E_{\text{вм}}$ в полосе $\approx 13 \div 40$ мэВ), а также вследствие того, что функции преобразователя, нагревателя и эмиттера реализуются в одном и том же преобразователе - наночастице;

(г) расширить диапазон частот преобразуемого ТГц излучения вследствие того, что реализуемый физический механизм поглощения - с участием вибрационных мод - обеспечивает поглощение квантов всего ТГц диапазона - с энергиями от 0,41 до 41 мэВ.

(д) повысить пространственное разрешение конвертера, так как регулируемое расстояние между наночастицами исключает перекрытие температурных полей соседних наночастиц-преобразователей с малым диаметром.

Терагерц-инфракрасный конвертер иллюстрируется чертежами, где на фиг. 1 изображён общий вид с основанием в виде матрицы в разрезе; на фиг. 2 - то же, с основанием в виде подложки, прозрачной в ТГц лучах; на фиг. 3 - то же, с основанием в виде подложки, прозрачной в ИК лучах; на фиг. 4 представлены графики (а), (б), (в) радиального распределения роста температуры в наночастице и матрице из желатина для наночастиц с радиусами $R_0 = 1 \div 1,5$ нм. На фиг. 5 представлена Таблица 1 с примерами реализации терагерц-инфракрасного конвертера.

Терагерц-инфракрасный конвертер с основанием в виде матрицы (фиг. 1) состоит из слоя 1, прозрачного в ТГц и ИК диапазонах частот, например, из желатина с равномерно размещенными в нём преобразователями в виде наночастиц 2 из медно-никелевого сплава.

Терагерц-инфракрасный конвертер с основанием в виде подложки, прозрачной в ТГц лучах (фиг. 2), состоит из подложки 1, например, из полиэтилена высокой плотности, на которую со стороны, противоположной источнику ТГц излучения (на рис. не показан) закреплены преобразователи 2. Преобразователи 2 выполнены в виде наночастиц из медно-никелевого сплава и напылением нанесены на подложку 1.

Терагерц-инфракрасный конвертер с основанием в виде подложки, прозрачной в ИК лучах (фиг. 3), состоит из подложки 1, например, из сапфира, на которую со стороны, обращённой к источнику ТГц излучения (на рис. не показан) закреплены преобразователи 2. Преобразователи 2 выполнены в виде наночастиц из медно-никелевого сплава и нанесены на подложку 1 напылением.

Терагерц-инфракрасный конвертер с основанием в виде матрицы (фиг. 1) работает следующим образом. Квант ТГц излучения с энергией $h\nu$ поглощает в наночастице 2 вибрационную моду с энергией $E_{\text{вм}}$ и возбуждает электрон наночастицы 2 в окрестности уровня Ферми с энергетического уровня E' на уровень $E' + h\nu + E_{\text{вм}}$. Далее возбуждённый электрон, рассеиваясь на границе наночастицы 2, возбуждает в ней вибрационную моду с энергией $h\nu + E_{\text{вм}} > E_{\text{вм}}$. В результате, наночастица 2 поглощает электромагнитную энергию $h\nu$ и преобразует её в теплоту. Двухмерная картина, созданная множеством нагретых наночастиц, может быть визуализирована ИК камерой или электронно-оптическим преобразователем (ЭОП).

Терагерц-инфракрасный конвертер с основанием в виде подложки из полиэтилена высокой плотности, прозрачной в ТГц лучах (фиг. 2), работает следующим образом. Квант ТГц излучения

с энергией $h\nu$, пройдя сквозь подложку 1, поглощает в наночастице 2 вибрационную моду с энергией $E_{\text{вм}}$ и возбуждает электрон, наночастицы 2 в окрестности уровня Ферми с уровня E' на уровень $E' + h\nu + E_{\text{вм}}$. Далее возбуждённый электрон, рассеиваясь на границе наночастицы 2, возбуждает в ней вибрационную моду с энергией $h\nu + E_{\text{вм}}$.

Таким образом, наночастица 2 поглощает электромагнитную энергию $h\nu$ и превращает её в теплоту, которая может быть визуализирована ИК камерой или ЭОП.

Терагерц-инфракрасный конвертер с основанием в виде подложки, прозрачной в ИК лучах (фиг. 3), работает следующим образом. Квант ТГц излучения с энергией $h\nu$ поглощает в наночастице 2 вибрационную моду с энергией $E_{\text{вм}}$ и возбуждает электрон наночастицы 2 в окрестности уровня Ферми с уровня E' на уровень $E' + h\nu + E_{\text{вм}}$. Далее возбуждённый электрон, рассеиваясь на границе наночастицы 2, возбуждает в ней вибрационную моду с энергией $h\nu + E_{\text{вм}}$. Таким образом, наночастица 2 поглощает электромагнитную энергию $h\nu$ и превращает её в ИК излучение, которое проходит далее сквозь подложку 1 и может быть визуализировано ИК камерой или ЭОП.

В наночастице медно-никелевого сплава энергии доминирующих вибрационных мод лежат в полосе $\approx 13 \div 40$ мэВ, соответственно, величины зазора $\Delta E = h\nu + E_{\text{вм}}$ между уровнями в d -зоне электронов занимают диапазон от $\Delta E_{\text{min}} = h\nu_{\text{min}} + E_{\text{вм.min}} = 13,41$ мэВ до $\Delta E_{\text{max}} = h\nu_{\text{max}} + E_{\text{вм.max}} = 81$ мэВ. С учётом того, что период решётки a медно-никелевого сплава в области содержания никеля 40-70 мас. % равен 0,355 нм, а ширина зоны d -электронов $W \approx 6$ эВ, согласно соотношению (1), диаметры наночастиц медно-никелевого сплава лежат в пределах $\approx 1,6 \div 3$ нм.

Представленные на фиг. 4 графики: а), б), в) отражают радиальные распределения температуры нагрева наночастиц из медно-никелевого сплава с радиусами $R_0 = 1 \div 1,5$ нм, находящихся в сферической желатиновой оболочке радиусом 500 нм, относительно комнатной температуры 300 К, соответствуют пяти значениям степени черноты наночастиц: 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 1 (степень черноты монотонно увеличивается сверху вниз: верхний график соответствует степени черноты 0,1, нижний график - степени черноты 1. Графики соответствуют мощностям, которые должны выделяться в наночастицах, чтобы эмиттируемое ими ИК излучение превысило температурный порог чувствительности ИК камеры (для определённости он выбран равным 14 мК). Из графиков: а), б), в) (фиг. 4) следует, что при расстоянии между наночастицами в 5-7 их радиусов отношение размера нагретого преобразователя к зазору между ними лежит в пределах $\approx 0,1-0,2$ (что на два порядка меньше, чем в прототипе). При этом температура нагревания желатина относительно 300 К мала настолько, что позволяет избежать превышения порога температурной чувствительности ИК камеры.

Поэтому в заявляемом изобретении размывание изображения отсутствует, и не происходит ухудшения пространственного разрешения. В таблице 1 (фиг. 5) приведены примеры реализации терагерц-инфракрасного конвертера для различных вариантов основания:

для основания в виде матрицы - примеры 1-4;

для основания в виде подложки, прозрачной в ТГц излучении - примеры 5-10;

для основания в виде подложки, прозрачной в ИК излучении - примеры 11-16.

Использование терагерц-инфракрасного конвертера предлагаемой конструкции в оптической технике для визуализации предметов, скрытых под одеждой, позволит повысить чувствительность аппаратуры, используемой в борьбе с терроризмом на транспорте и в общественных местах.

Кроме того, терагерц-инфракрасный конвертер предлагаемой конструкции может найти применение в аппаратуре для онкологических исследований.

Формула изобретения

1. Терагерц-инфракрасный конвертер, состоящий из основания с преобразователями терагерцевого излучения в инфракрасное излучение, отличающийся тем, что основание выполнено в виде матрицы, прозрачной в ТГц и ИК диапазонах частот, а преобразователи равномерно распределены в её объёме и выполнены в виде наночастиц из медно-никелевого сплава, причём содержание никеля в медно-никелевом сплаве составляет 40-70 мас. %, при этом диаметр наночастиц определяется по формуле:

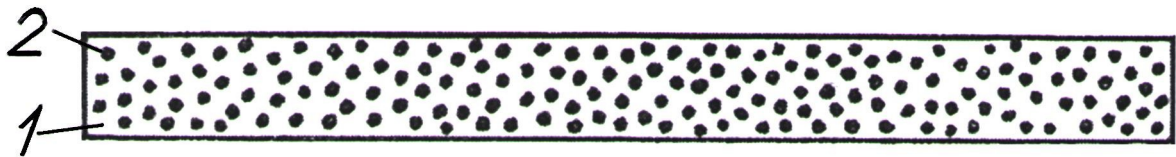
$$D \approx 1,9 \cdot a \cdot [(W/\Delta E)+1]^{1/3}$$

где D - диаметр наночастиц (нм),
 a - период решётки медно-никелевого сплава (нм),
 W - ширина зоны d -электронов медно-никелевого сплава (мэВ),
 ΔE - энергетический зазор между уровнями электронов в d -зоне (мэВ).

2. Терагерц-инфракрасный конвертер по п. 1, отличающийся тем, что основание выполнено в виде подложки, прозрачной в терагерцевом диапазоне частот, а преобразователи расположены на стороне подложки, противоположной источнику терагерцевого излучения.

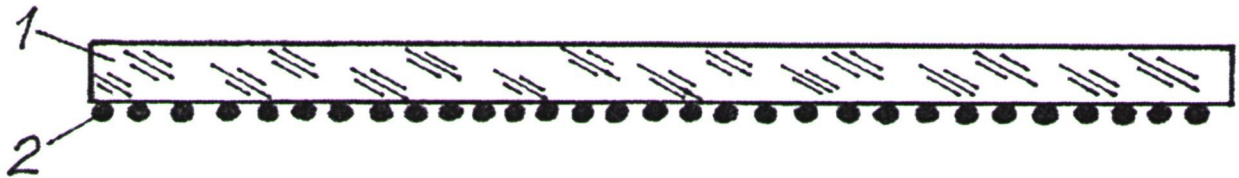
3. Терагерц-инфракрасный конвертер по п. 1, отличающийся тем, что основание выполнено в виде подложки, прозрачной в инфракрасном диапазоне частот, а преобразователи расположены на стороне подложки, обращённой к источнику терагерцевого излучения.

Устройство для перемещения мебели, состоящее из опоры и узла уменьшения трения об пол, отличающееся тем, что опора выполнена в виде рамы, а узел уменьшения трения об пол состоит из четырех колесных узлов и натяжителя, причем колесные узлы крепятся к углам рамы, с возможностью складываться посредством тросов, прикрепленных к натяжителю.



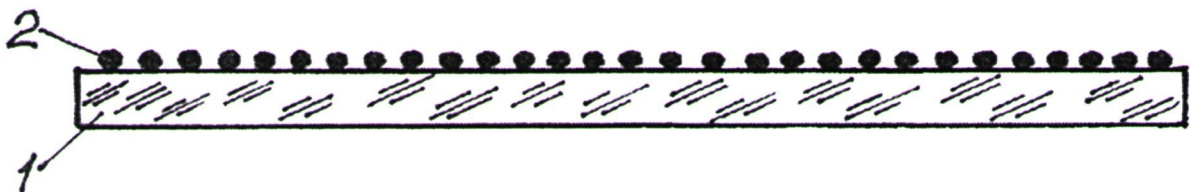
Фиг. 1

К источнику ТГц излучения



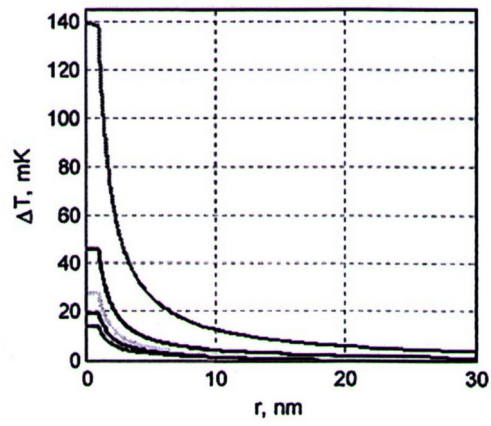
Фиг. 2

К источнику ТГц излучения



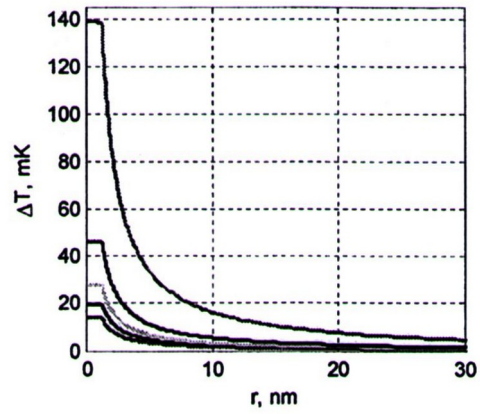
Фиг. 3

$$R_0 = 1 \text{ нм}$$



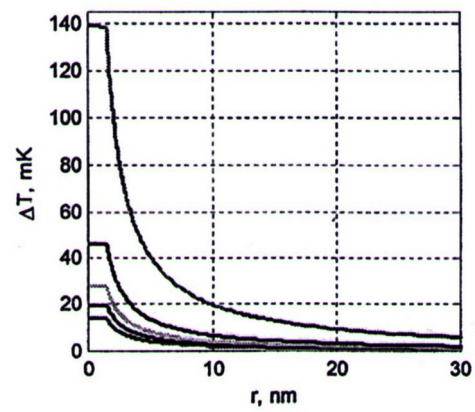
a)

$$R_0 = 1,25 \text{ нм}$$



б)

$$R_0 = 1,5 \text{ нм}$$



в)

Фиг. 4

Таблица 1

№ приме- ра	Материал наночастиц	Химический состав материала наночастиц, мас. %	Материал матрицы	Материал подложки
1	Сплав меди и никеля	<i>Ni - 53, Cu - 47</i>	Желатин	-
2	Сплав меди и никеля	<i>Ni - 53, Cu - 47</i>	Фторопласт	-
3	Сплав МНМц40-1,5 ГОСТ 492-2006	<i>Ni - 40, Cu - 60</i>	Желатин	-
4	Сплав МНМц40-1,5 ГОСТ 492-2006	<i>Ni - 40, Cu - 60</i>	Фторопласт	-
5	Сплав меди и никеля	<i>Ni - 53, Cu - 47</i>	-	Полиэтилен высо- кой плотности
6	Сплав меди и никеля	<i>Ni - 53, Cu - 47</i>	-	Полиметилпентен
7	Сплав меди и никеля	<i>Ni - 53, Cu - 47</i>	-	Фторопласт
8	Сплав МНМц40-1,5 ГОСТ 492-2006	<i>Ni - 40, Cu - 60</i>	-	Полиэтилен высо- кой плотности
9	Сплав МНМц40-1,5 ГОСТ 492-2006	<i>Ni - 40, Cu - 60</i>	-	Полиметилпентен
10	Сплав МНМц40-1,5 ГОСТ 492-2006	<i>M - 40, Cu - 60</i>	-	Фторопласт
11	Сплав меди и никеля	<i>Ni - 53, Cu - 47</i>	-	Сапфир
12	Сплав меди и никеля	<i>Ni - 53, Cu - 47</i>	-	Флюорит
13	Сплав меди и никеля	<i>Ni - 53, Cu - 47</i>	-	Магний фтористый
14	Сплав МНМц40-1,5 ГОСТ 492-2006	<i>Ni - 40, Cu - 60</i>	-	Сапфир
15	Сплав МНМц40-1,5 ГОСТ 492-2006	<i>Ni - 40, Cu - 60</i>	-	Флюорит
16	Сплав МНМц40-1,5 ГОСТ 492-2006	<i>Ni - 40, Cu - 60</i>	-	Магний фтористый

Фиг. 5

Выпущено отделом подготовки материалов

Государственная служба интеллектуальной собственности и инноваций при Правительстве Кыргызской Республики,
720021, г. Бишкек, ул. Московская, 62, тел.: (312) 68 08 19, 68 16 41; факс: (312) 68 17 03