

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202490415 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2024.04.15(22) Дата подачи заявки
2021.09.08(51) Int. Cl. G01N 29/24 (2006.01)
G01N 29/30 (2006.01)
G01N 29/32 (2006.01)
G01N 29/02 (2006.01)
G01N 29/024 (2006.01)

(54) УСТРОЙСТВО И СПОСОБ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ ВТЕХ-СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

(86) PCT/IB2021/000637

(87) WO 2023/037135 2023.03.16

(71) Заявитель:
ТОТАЛЬЭНЕРЖИЗ УАНТЕК; САНТР
НАСЪОНАЛЬ ДЕ ЛЯ РЕШЕРШ
СЪЕНТИФИК; ЮНИВЕРСИТЕ
ДЕ ФРАНШ-КОМТЕ; ЭКОЛЬ
НАСЪОНАЛЬ СЮПЕРЬЕР ДЕ
МЕКАНИК Э ДЕ МИКРОТЕКНИК
(FR)

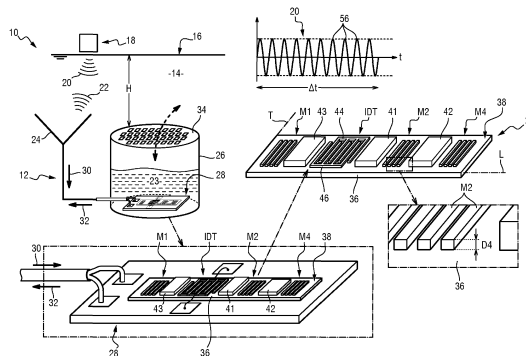
(72) Изобретатель:

Кредос Антони, Ордонес-Варела
Джон-Ричард, Ле Бельз Орели, Фридт
Жан-Мишель, Рабю Давид, Шериу
Фредерик, Арапан Лилия (FR)

(74) Представитель:

Фелицына С.Б. (RU)

(57) Устройство (12) для беспроводного обнаружения присутствия ВТЕХ-составляющей в грунте (14), насыщенном водой, содержащее антенну (24), проникаемую оболочку (26) и датчик (28), расположенный внутри оболочки. Датчик содержит пьезоэлектрическую подложку (36), содержащую танталат лития, встречно-штыревой преобразователь (IDT), соединенный с антенной для генерации поверхностных акустических волн (40), первый отражатель (M1) для создания первых отраженных акустических волн (E1), второй отражатель (M2) для создания вторых отраженных волн (E2), первый слой (41) первого полимера, расположенный между преобразователем и вторым отражателем, причем первый полимер выполнен с возможностью вступать в реакцию с ВТЕХ-составляющей для модификации скорости распространения вторых отраженных волн, и первый направляющий слой (43), содержащий металл и/или полимер и расположенный между преобразователем и первым отражателем.



A1

202490415

202490415

A1

УСТРОЙСТВО И СПОСОБ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ ВТЕХ-СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

Настоящее изобретение относится к устройству, предназначенному для обнаружения подповерхностной ВТЕХ-составляющей в жидкой фазе, например, в грунте, насыщенном водой.

Настоящее изобретение также относится к детекторной установке, содержащей по меньшей мере одно такое устройство, и к способу обнаружения подповерхностной ВТЕХ-составляющей в жидкой фазе с использованием такого устройства.

В нефтяной и нефтехимической промышленности аббревиатура ВТЕХ обозначает бензол, толуол, этилбензол и изомеры ксилола, причем эти ароматические углеводороды рассматриваются по одиночке или в виде смесей. Обнаружение этих химических составляющих важно для контроля и очистки потенциально загрязненных грунтов и грунтовых вод, поступающих в промышленные зоны и вытекающих из таких зон.

В настоящее время, существующие технические решения развертывают непосредственно в мониторинговых скважинах, которые необходимо бурить. Иногда применяют оптические измерения (в инфракрасном диапазоне) ВТЕХ-составляющей. Однако такие прямолинейные технические решения являются затратными и могут сталкиваться с серьезными проблемами калибровки и с дрейфом из-за воздействия загрязнений. Кроме того, они могут подвергать оператора воздействию этих загрязнений.

Более традиционные, непрямые технические решения требуют отбора проб посредством откачки грунтовых вод на поверхность. Концентрации ВТЕХ-составляющих после этого определяют либо непосредственно на месте с использованием портативных анализаторов, либо позднее, в лаборатории, удаленной от этой промышленной зоны. Однако эти технические решения вносят большую задержку между отбором проб и их измерением, и при этом в процессе транспортировки проб может происходить потеря загрязнений.

Насколько нам известно, не существует никакого постоянного технического решения для этого типа обнаружения. Безусловно, известны различные способы определения всех видов компонентов, но ни один из этих способов до настоящего момента не способен решить проблему определения таких химических компонентов, как ВТЕХ-составляющая, в жидкой фазе, такой как насыщенный водой грунт, и беспроводным способом.

Целью настоящего изобретения является решение или усовершенствование решения указанных выше проблем, в частности, для того, чтобы позволить постоянное

определение ВТЕХ-составляющих в подповерхностной жидкой фазе, доступ к которой затруднен.

Для этого, настоящее изобретение предлагает устройство для обнаружения ВТЕХ-составляющей в грунте, насыщенном водой, причем ВТЕХ-составляющая и вода образуют жидкую фазу, при этом устройство содержит: антенну, выполненную с возможностью приема радиолокационного сигнала и излучения радиолокационного сигнала отклика; оболочку, проницаемую для указанной жидкой фазы; и датчик, расположенный внутри оболочки и содержащий:

- пьезоэлектрическую подложку, содержащую танталат лития, причем подложка имеет поверхность, протяженную в продольном направлении,

- встречно-штыревой преобразователь, расположенный на указанной поверхности и электрически соединенный с антенной для приема входного электрического сигнала от антенны и передачи выходного электрического сигнала в антенну, причем встречно-штыревой преобразователь предназначен для преобразования входного электрического сигнала в поверхностные акустические волны, распространяющиеся в указанном продольном направлении,

- первый отражатель, расположенный на указанной поверхности и выполненный с возможностью приема первой части поверхностных акустических волн и создания первых отраженных волн, распространяющихся в направлении встречно-штыревого преобразователя, посредством механического отражения и/или переизлучения указанной первой части поверхностных акустических волн,

- второй отражатель, расположенный на указанной поверхности и выполненный с возможностью приема второй части поверхностных акустических волн и создания вторых отраженных волн, распространяющихся в направлении преобразователя, посредством механического отражения и/или переизлучения указанной второй части поверхностных акустических волн,

- по меньшей мере первый слой первого полимера, расположенный на указанной поверхности между преобразователем и вторым отражателем, причем первый полимер выполнен с возможностью вступать в реакцию с ВТЕХ-составляющей для модификации скорости распространения вторых отраженных волн вдоль первого слоя, и

- по меньшей мере первый направляющий слой, содержащий металл и/или полимер, причем первый направляющий слой расположен на поверхности между преобразователем и первым отражателем,

встречно-штыревой преобразователь выполнен с возможностью преобразования первых отраженных волн и вторых отраженных волн по меньшей мере в часть выходного электрического сигнала,

указанная антенна выполнена с возможностью преобразования выходного электрического сигнала в радиолокационный сигнал отклика.

В других вариантах осуществления устройство содержит один или несколько из следующих признаков, взятых по отдельности или в какой-либо технически реализуемой комбинации:

- третий отражатель, расположенный на указанной поверхности и выполненный с возможностью приема третьей части поверхностных акустических волн и создания третьих отраженных волн, распространяющихся в направлении преобразователя, посредством механического отражения и/или переизлучения указанной третьей части поверхностных акустических волн, указанный преобразователь выполнен с возможностью приема третьих отраженных волн и преобразования их по меньшей мере в часть выходного электрического сигнала; и второй направляющий слой, содержащий металл и/или полимер, причем второй направляющий слой расположен на указанной поверхности между первым отражателем и третьим отражателем;

- четвертый отражатель, расположенный на указанной поверхности и выполненный с возможностью приема четвертой части поверхностных акустических волн и создания четвертых отраженных волн, распространяющихся в направлении преобразователя, посредством механического отражения и/или переизлучения указанной четвертой части поверхностных акустических волн; и второй слой второго полимера, расположенный на указанной поверхности между преобразователем и четвертым отражателем, причем второй полимер отличается от первого полимера и выполнен с возможностью вступать в реакцию с химическим компонентом в указанной жидкой фазе для модификации скорости распространения четвертых отраженных волн вдоль второго слоя,

указанный преобразователь выполнен с возможностью приема четвертых отраженных волн и преобразования их по меньшей мере в часть выходного электрического сигнала;

- указанный датчик выполнен так, что поверхностные акустические волны, первые отраженные волны и вторые отраженные волны содержат волны Лява;

- первый полимер содержит поли(эпихлоргидрин) или полиизобутилен;

- устройство не содержит никаких аккумуляторов или батареек;

- преобразователь, первый отражатель и второй отражатель содержат алюминий;

- один или несколько элементов из группы, содержащей преобразователь, первый отражатель и второй отражатель, представляют собой встречно-штыревые преобразователи, имеющие расщепленные штыри, протяженные в поперечном направлении, перпендикулярном указанному продольному направлению;

- один или несколько элементов из группы, содержащей преобразователь, первый отражатель и второй отражатель представляют собой встречно-штыревые преобразователи с синусоидальной аподизацией;

- антенна представляет собой широкополосную антенну;

- антенна имеет спиральную форму; и

- преобразователь выполнен с возможностью создания поверхностных акустических волн, распространяющихся вдоль первого слоя полимера и имеющих данную длину волны, причем указанный первый слой имеет толщину, перпендикулярную указанному продольному направлению и указанному поперечному направлению, при этом толщина составляет от 2% до 7% указанной длины волны.

Настоящее изобретение предлагает детекторную установку, содержащую:

- по меньшей мере одно устройство по любому из пунктов формулы изобретения, которое предназначено для погружения в грунт на некоторое расстояние от поверхности грунта; и

- систему, выполненную с возможностью излучения радиолокационного сигнала и приема радиолокационного сигнала отклика, причем системе надлежит располагаться над грунтом.

В частном варианте осуществления система выполнена так, что радиолокационный сигнал содержит несколько последовательных колебаний, причем число последовательных колебаний составляет от 8 до 12.

Настоящее изобретение также предлагает способ обнаружения ВТЕХ-составляющей в грунте, насыщенном водой, причем вода и ВТЕХ-составляющая образуют жидкую фазу, при этом способ содержит следующие этапы, на которых:

- получают устройство или детекторную установку,

- принимают радиолокационный сигнал антенной и генерируют входной электрический сигнал,

- принимают преобразователем входной электрический сигнал и преобразуют входной электрический сигнал в поверхностные акустические волны, распространяющиеся в продольном направлении,

- принимают первым отражателем первую часть поверхностных акустических волн и создают первые отраженные волны, распространяющиеся в направлении встречно-

штыревого преобразователя, посредством механического отражения и/или переизлучения первой части поверхностных акустических волн,

- принимают вторым отражателем вторую часть поверхностных акустических волн и создают вторые отраженные волны, распространяющиеся в направлении преобразователя, посредством механического отражения и/или переизлучения второй части поверхностных акустических волн,

- вызывают реакцию первого полимера с ВТЕХ-составляющей и модифицируют скорость распространения вторых отраженных волн вдоль первого слоя,

- преобразуют первые отраженные волны и вторые отраженные волны посредством встречно-штыревого преобразователя по меньшей мере в часть выходного электрического сигнала,

- преобразуют антенной выходной электрический сигнал в радиолокационный сигнал отклика, и

- используют радиолокационный сигнал отклика для обнаружения ВТЕХ-составляющей.

Настоящее изобретение и его преимущества станут лучше понятны после прочтения последующего описания, данного исключительно на примере и со ссылками на прилагаемые чертежи, на которых:

фиг. 1 представляет упрощенный вид в перспективе детекторной установки согласно настоящему изобретению;

фиг. 2 представляет упрощенный вид спереди датчика детекторной установки, показанной на фиг. 1;

фиг. 3 представляет упрощенный вид спереди рисунка встречно-штыревого преобразователя или отражателей датчика, показанного на фиг. 1 и 2;

фиг. 4 и 5 представляют упрощенные виды спереди двух рисунков, образующих варианты рисунка, показанного на фиг. 3;

фиг. 6 представляет график, показывающий временную характеристику датчика в ответ на импульс в зависимости от того, какой из трех рисунков, показанных на фиг. 3 – 5, используется;

фиг. 7 представляет график, показывающий временную характеристику датчика, показанного на фиг. 1 и 2, в присутствии первого слоя полимера и второго слоя полимера и в отсутствие этих слоев;

фиг. 8 представляет график, показывающий дисперсионную характеристику слоя полимера на подложке датчика, показанного на фиг. 1 и 2, в функции от толщины этого слоя; и

фиг. 9 представляет график, показывающий задержку, выраженную в виде разности фаз, между третьими отраженными волнами и первыми отраженными волнами (служащими в качестве опоры), между вторыми отраженными волнами и первыми отраженными волнами и между четвертыми отраженными волнами и первыми отраженными волнами.

Детекторная установка 10 согласно настоящему изобретению будет далее описана со ссылками на фиг. 1.

Эта детекторная установка 10 содержит устройство 12 согласно настоящему изобретению, погружаемое в грунт 14 на расстояние H от поверхности 16 грунта, и систему 18, расположенную над грунтом, для излучения радиолокационного сигнала 20 в направлении устройства и приема радиолокационного сигнала отклика 22 от устройства.

В качестве одного из вариантов (не показан), детекторная установка 10 может содержать несколько устройств, аналогичных тому, которое показано выше, и/или несколько систем, аналогичных показанной системе 18.

Грунт 14, например, насыщен водой и содержит ВТЕХ-составляющую, например, толуол, который должна обнаружить детекторная установка 10. Эту ВТЕХ-составляющую, например, переносит или вымывает вода, присутствующая в грунте 14. Здесь предполагается, что ВТЕХ-составляющая и вода составляют смешиваемую или несмешиваемую жидкую фазу 23. Слово «фаза» здесь не означает, что ВТЕХ-составляющая может смешиваться с водой.

В показанном примере детекторная установка 10 предпочтительно способна обнаруживать другую химическую составляющую, например, ВТЕХ-составляющую, отличную от толуола, или другой аналитический компонент, например, H_2S .

В других вариантах, детекторная установка 10 может быть способна определять больше двух различных химических составляющих.

Расстояние H составляет, например, от 1 м до 2 м во влажных областях и до 5 м или 10 м в сухих областях (например, вечная мерзлота, пустыня).

«Обнаружение химической составляющей» означает, что детекторная установка 10 способна предоставлять информацию, показывающую присутствие рассматриваемой химической составляющей рядом с устройством 12, предпочтительно количественным или полуколичественным способом.

Устройство 12 остается в грунте 14 и передает информацию посредством радиолокационного сигнала отклика 22 в ответ на запрос от системы 18. Устройство 12 конфигурировано в качестве излучающей мишени для радиолокатора подповерхностного зондирования (Ground Penetrating RADAR) (известного как GPR).

Устройство 12 предпочтительно является беспроводным и не содержит аккумулятора или батареек.

Устройство 12 содержит антенну 24 для приема радиолокационного сигнала 20 и излучения радиолокационного сигнала отклика 22, оболочку 26, проницаемую для жидкой фазы 23, и датчик 28, расположенный внутри оболочки.

Антенна 24 предпочтительно представляет собой широкополосную антенну с добротностью, равной, например, обратной величине коэффициента электромеханической связи пьезоэлектрической подложки, на которой создан датчик. Эта антенна 24, например, имеет спиральную форму, а минимум параметра S_{11} этой антенны идеально настроен в полосе пропускания датчика. Антенна 24 электрически соединена с датчиком 28 и преобразует радиолокационный сигнал 20 во входной электрический сигнал 30 для датчика. Эта антенна 24 также преобразует выходной электрический сигнал 32 от датчика 28 в радиолокационный сигнал отклика 22.

Оболочка 26 содержит, например, сетку 34 для пропускания потока жидкой фазы 23, содержащей ВТЕХ-составляющую, внутрь оболочки.

Эта сетка 34 предпочтительно расположена в верхней части оболочки 26.

Датчик 28 (фиг. 1 и 2) содержит пьезоэлектрическую подложку 36, имеющую поверхность 38, протяженную в продольном направлении L, и встречно-штыревой преобразователь (interdigitated transducer (IDT)), расположенный на этой поверхности 38, для преобразования входного электрического сигнала 30 в поверхностные акустические волны 40, распространяющиеся в продольном направлении L, за счет пьезоэлектрического эффекта. Датчик 28 содержит первый отражатель M1, расположенный на поверхности 38, для приема первой части поверхностных акустических волн 40 и для создания первых отраженных волн E1, распространяющихся по направлению к преобразователю IDT, посредством механического отражения и/или переизлучения первой части поверхностных акустических волн. Этот датчик 28 также содержит второй отражатель M2, расположенный на поверхности 38, для приема второй части поверхностных акустических волн и для создания вторых отраженных волн E2, распространяющихся по направлению к преобразователю IDT, посредством механического отражения и/или переизлучения второй части поверхностных акустических волн.

Датчик 28 содержит по меньшей мере первый слой 41 первого полимера, расположенный на поверхности 38 между преобразователем IDT и вторым отражателем M2, первый полимер способен вступать в реакцию с ВТЕХ-составляющей для модификации скорости распространения вторых отраженных волн E2 вдоль первого слоя 41.

Этот датчик 28 содержит по меньшей мере первый направляющий слой 43, содержащий металл и/или полимер, этот первый направляющий слой расположен на поверхности 38 между преобразователем IDT и первым отражателем M1.

В этом примере, датчик 28 далее содержит третий отражатель M3 (показан только на фиг. 2), расположенный на поверхности 38, для приема третьей части поверхностных акустических волн 40 и создания третьих отраженных волн E3, распространяющихся в направлении преобразователя IDT, посредством механического отражения и/или переизлучения третьей части поверхностных акустических волн. Датчик 28 далее содержит второй направляющий слой 45, содержащий металл и/или полимер, этот второй направляющий слой расположен на поверхности 38 между первым отражателем M1 и третьим отражателем M3.

Предпочтительно датчик 28 далее содержит четвертый отражатель M4, расположенный на поверхности 38, для приема четвертой части поверхностных акустических волн и создания четвертых отраженных волн E4, распространяющихся к преобразователю IDT, посредством механического отражения и/или переизлучения четвертой части поверхностных акустических волн. Этот датчик 28 далее содержит второй слой 42 второго полимера, расположенный на поверхности 38 между преобразователем IDT и четвертым отражателем M4, этот второй полимер отличается от первого полимера и может вступать в реакцию с неким химическим компонентом в жидкой фазе 23 для модификации скорости распространения четвертых отраженных волн E4 вдоль второго слоя 42.

Датчик 28 выполнен с возможностью образования отражательной линии задержки, создающей в этом примере четыре группы отраженных волн E1 – E4, первые отраженные волны E1 служат опорой, вторые отраженные волны E2 позволяют обнаружить ВТЕХ-составляющую, третьи отраженные волны E3 предоставляют информацию относительно температурного дрейфа, и четвертые отраженные волны E4 позволяют обнаружить другую химическую составляющую. В зависимости от числа отражателей и природы слоев на поверхности 38 между отражателями и преобразователем IDT датчик 28 может иметь другие конфигурации, так что некоторые из этих других конфигураций будут описаны позднее.

Датчик 28 также выполнен так, что поверхностные акустические волны 40, распространяющиеся вдоль первого слоя 41 полимера и предпочтительно вдоль второго слоя 42 полимера, содержат волны Лява. Это позволит максимизировать ограничение энергии внутри датчика 28, чтобы максимизировать гравиметрическую чувствительность датчика.

Подложка 36 выполнена из стехиометрического танталата лития (LiTaO_3), например, $\text{YXl}/36^\circ$, хотя любая кристаллографическая ориентация, генерирующая псевдосдвиговую волну, (например, $\text{YXl}/42^\circ$) будет удовлетворять требованиям датчика, работающего в жидкости.

Эта подложка 36 обеспечивает распространение псевдосдвиговой волны, которая может быть ограничена у поверхности 38, или путем металлизации свободной поверхности с целью замедления волны и, следовательно, ограничения энергии у указанной поверхности за счет условия электропроводной границы и/или покрытия этой поверхности полимером, скорость акустических волн в котором меньше скорости волны сдвига в объеме пьезоэлектрической подложки. Это осуществляется посредством первого направляющего слоя 43 и второго направляющего слоя 45.

Эта подложка 36 представляет собой, например, прямоугольную пластину с длиной, например, 10 мм в продольном направлении L и шириной, например, 3 мм в поперечном направлении T, перпендикулярном продольному направлению L. Подложка 36 имеет, например, толщину между 300 мкм и 500 мкм, причем эта толщина достаточно велика, чтобы избежать взаимодействия поверхностной акустической волны с противоположной стороной пластины.

В одном из конкретных вариантов, преобразователь IDT, первый отражатель M1, второй отражатель M2, третий отражатель M3 и четвертый отражатель M4 структурно аналогичны один другому.

Например, первый отражатель M1 и третий отражатель M3 (если присутствует) располагаются с одной стороны от преобразователя IDT в продольном направлении L, тогда как второй отражатель M2 и четвертый отражатель M4 располагаются с другой стороны. Например, третий отражатель M3 располагается дальше от преобразователя IDT, чем первый отражатель M1, и четвертый отражатель M4 располагается дальше от преобразователя, чем второй отражатель M2.

Предпочтительно отражатели располагаются в продольном направлении L таким образом, что создаваемые этими отражателями группы отраженных волн принимаются преобразователем IDT последовательно, так что их легко изолировать одну от другой таким образом, что интервал между моментами прихода последовательных групп отраженных волн в преобразователь составит, например, по меньшей мере 0.5 мкс.

Преобразователь IDT преобразует первые отраженные волны E1, вторые отраженные волны E2, и предпочтительно третьи отраженные волны E3 и четвертые отраженные волны E4 в выходной электрический сигнал 32 за счет пьезоэлектрического эффекта.

В рассматриваемом примере, преобразователь IDT, первый отражатель M1, второй отражатель M2, третий отражатель M3 и четвертый отражатель структурно аналогичны один другому (хотя и не представлены одинаково на фиг. 1), поскольку в качестве способа отражения используется электрическое переизлучение, а не механическое отражение, на низких (ниже 500 МГц) частотах, рассматриваемых здесь. Поэтому в дальнейшем здесь будет описан только преобразователь IDT.

В качестве одного из вариантов (не показан), отражатели M1 – M4 могут отличаться от преобразователя IDT, и/или они могут отличаться один от другого, например, за счет настройки числа электродов в каждом отражателе таким образом, чтобы мощность отраженных волн была одинаковой для всех групп отраженных волн.

Преобразователь IDT предпочтительно выполнен из одного слоя металла, в котором создан заданный рисунок, например, алюминия или, если требуется стойкость против коррозии, золота.

Преобразователь IDT содержит два электрода 44, 46, имеющих соответственно два основания 48, 50, протяженных в продольном направлении и отделенных одно от другого промежутком в поперечном направлении. Эти электроды 44, 46 содержат соответственно две группы штырей 52, 54, выступающих в поперечном направлении от одного из оснований 48, 50 к другому и наоборот.

Преобразователь IDT является встречно-штыревым, поскольку штыри 52 из одной группы чередуются со штырями 54 из другой группы вдоль медианной линии D, параллельной продольному направлению L.

В рассматриваемом примере каждый из штырей 52 из одной из двух групп обращен в поперечном направлении к соответствующему штырю 54 из другой группы.

Штыри 52, 54 разделены промежутками величиной D1 (фиг. 2), например, 10 мкм, в поперечном направлении. Самые короткие штыри имеют длину D2, например, 10 мкм, в поперечном направлении T.

В примере, показанном на фиг. 2 и 3, каждый из штырей 52, 54 является расщепленным. Каждый из этих штырей разделен на два полуштыря 52A, 52B. Например, ширина полуштыря в продольном направлении L равна расстоянию между этими полуштырями.

В рассматриваемом примере преобразователь IDT имеет синусоидальную аподизацию, так что в каждой из двух групп штырей 52, 54 один штырь из двух в продольном направлении L образует первую часть синусоиды S1, а другой штырь из этих двух образует вторую часть синусоиды S2. Каждая из этих частей – первая часть синусоиды S1 и вторая часть синусоиды S2, например, соответствует полупериоду.

Штыри, образующие первую часть синусоиды S1 или вторую часть синусоиды S2, определяют продольный период D3, например, 41 мкм.

Штыри 52, 54 и основания 48, 50 имеют в направлении, перпендикулярном подложке 36, толщину, например, 0.5 мкм.

В одном из вариантов, показанном на фиг. 4, штыри 52, 54 не являются расщепленными. Ширина штырей 52, 54 равна, например, расстоянию между двумя последовательными штырями в продольном направлении L.

Согласно другому варианту, показанному на фиг. 5, преобразователь IDT имеет простую аподизацию, так что каждая группа штырей 52, 54 содержит длинные штыри и короткие штыри, чередующиеся в продольном направлении.

Влияние различных архитектур отражателя показано на фиг. 6. Фиг. 6 представляет график временной характеристики (модуль коэффициента отражения S11 в дБ) датчика 28, содержащего преобразователь IDT и четыре отражателя M1 – M4.

Для кривой C1, преобразователь IDT и четыре отражателя имеют расщепленные штыри и синусоидальную аподизацию, как показано на фиг. 3. Для кривой C2, преобразователь IDT и четыре отражателя имеют сплошные нерасщепленные штыри и синусоидальную аподизацию, как показано на фиг. 4. Для кривой C3, преобразователь IDT и четыре отражателя имеют сплошные нерасщепленные штыри и простую аподизацию, как показано на фиг. 5. Первые, вторые, третьи и четвертые отраженные волны E1, E2, E3, E4 соответствуют локальным максимумам характеристики во временной области. Как можно видеть на фиг. 6, отраженные волны являются более сильными в случае расщепленных штырей и синусоидальной аподизации.

Главными механизмами для передачи волны назад от отражателя к преобразователю IDT являются механическое отражение и переизлучение. Первый эффект индуцируется вариациями акустической скорости, создаваемыми с одной стороны отражением при нагружении механической массы, а с другой стороны изменениями электрических граничных условий, когда волна распространяется из свободного пространства в область, металлизированную рисунком электродов. Было отмечено, что эти два эффекта обладают противоположными знаками в случае подложки из ниобата лития и суммируются в случае подложки из танталата лития. В случае переизлучения, входящая акустическая волна индуцирует в электродах отражателя электрический ток, возбуждающий механические напряжения в кристаллической решетке подложки 36 и, следовательно, новую акустическую волну, распространяющуюся в обоих направлениях от отражательной структуры, имеющей рисунок преобразователей IDT. Оказалось, что это

дает самые сильные отраженные волны и, следовательно, наименьшие вносимые потери в коэффициенте отражения.

Первый полимер представляет собой, например, поли(эпихлоргидрин) (PECH).

Второй полимер представляет собой, например, полиизобутилен (PIB).

Второй полимер предпочтительно отличается от первого полимера. Однако, в одном из конкретных вариантов, второй полимер может иметь такую же природу, как и первый полимер, чтобы оценить воспроизводимость результатов измерений.

В рассматриваемом примере, второй слой 42 второго полимера проходит в продольном направлении только между вторым отражателем M2 и четвертым отражателем M4.

Покрытие чувствительных областей между преобразователем IDT и отражателями или между отражателями мягкими полимерами вносит дополнительные потери. Влияние этих потерь показано на фиг. 7, где характеристика чистой поверхности подложки 36 прежде нанесения покрытия обозначена кривой C4, а после покрытия слоем PECH толщиной 900 нм – кривой C5. Только половина подложки 36 была покрыта с использованием технологии избирательной взрывной литографии, так что области между преобразователем IDT, отражателями M2 и M4 остаются покрыты полимером, вносящим дополнительные, но приемлемые потери.

Толщина e полимерного слоя позволяет оптимизировать гравиметрическую чувствительность путем ограничения акустической волны в полимере, направляющем эту волну в приближении моды Лява. Были рассмотрены дисперсионные характеристики различных полимеров с целью максимизации гравиметрической чувствительности, измеряемой как крутизна зависимости скорости акустической волны от толщины e полимерного слоя. Например, на фиг. 8 показана дисперсионная характеристика новолачного фоторезиста S1813 на подложке $\text{YXl}/36^\circ \text{LiTaO}_3$. Здесь построен график продольной скорости акустических волн вдоль слоя полимера в функции от отношения толщины e полимерного слоя к длине λ волны акустических волн. Чем больше крутизна этой характеристики (в абсолютных величинах), тем лучше гравиметрическая чувствительность. Как показано на фиг. 8, крутизна начинает увеличиваться, когда отношение e/λ больше 0.05. Затем абсолютная величина крутизны растет вместе с увеличением отношения e/λ . Однако заходить дальше отношения 0.07 нежелательно, поскольку вносимые потери также увеличиваются.

В результате было определено, что слой 41, 42 полимеров должен предпочтительно иметь толщину e (перпендикулярно продольному направлению L и поперечному

направлению Т) между 2% и 7% длины λ волны акустических волн, распространяющихся вдоль слоев полимера.

Первый направляющий слой 43 выполнен, например, из металла, полимера или содержит слой полимера на поверхности подслоя металла, лежащего на поверхности 38.

Второй направляющий слой 45, если таковой присутствует, также выполнен из металла, полимера или содержит слой полимера на поверхности подслоя металла, лежащего на поверхности 38.

Направляющие слои направляют и ограничивают акустические волны и порождаемые ими отраженные волны в пределах подложки 36.

Система 18 выполнена так, что радиолокационный сигнал 20 содержит несколько последовательных колебаний или импульсов 56, как видно на фиг. 1.

Эта система 18 предпочтительно выполнена с возможностью использовать радиолокационный сигнал отклика 22 для обнаружения ВТЕХ-составляющей.

В качестве одного из вариантов, система 18 передает радиолокационный сигнал отклика 22 удаленному компьютеру (не показан), использующему этот радиолокационный сигнал отклика.

Число этих последовательных колебаний 56 предпочтительно составляет от восьми до двенадцати, чтобы согласовать с передаточной функцией датчика, ширина полосы пропускания которого определяется коэффициентом k^2 электромеханической связи, где в предпочтительном варианте $1/k^2 = 10$. Число последовательных колебаний 56 равно, например, десяти.

Однако, в одном из конкретных вариантов, радиолокационный сигнал 20 может содержать только одно колебание.

Частота радиолокационного сигнала 20 находится, например, между 100 и 500 МГц.

Принцип работы детекторной установки 10 следует из ее структуры и будет теперь описан с целью иллюстрации способа обнаружения подповерхностной ВТЕХ-составляющей согласно настоящему изобретению.

Целью является обнаружение подповерхностной ВТЕХ-составляющей в смешиваемой или несмешиваемой с водой жидкой фазе в грунте 14, насыщенном водой.

Например, система 18 излучает радиолокационный сигнал 20. Этот радиолокационный сигнал 20 принимается антенной, генерирующей входной электрический сигнал 30.

Этот входной электрический сигнал 30 принимается преобразователем IDT и преобразуется в поверхностные акустические волны 40, распространяющиеся в продольном направлении L.

Первый отражатель M1 принимает первую часть поверхностных акустических волн. Этот первый отражатель M1 создает первые отраженные волны E1, распространяющиеся в направлении встречно-штыревого преобразователя IDT, посредством механического отражения и/или переизлучения первой части поверхностных акустических волн. Первый направляющий слой 43 обеспечивает, что первая часть поверхностных акустических волн и первые отраженные волны E1 могут распространяться вдоль подложки 36.

Второй отражатель M2 принимает вторую часть поверхностных акустических волн. Этот второй отражатель M2 создает вторые отраженные волны E2, распространяющиеся в направлении встречно-штыревого преобразователя IDT, посредством механического отражения и/или переизлучения второй части поверхностных акустических волн.

Оболочка 26 позволяет жидкой фазе 23, окружающей устройство 12, находиться в контакте с первым слоем 41 полимера. Если в жидкой фазе 23 присутствует ВТЕХ-составляющая, эта ВТЕХ-составляющая вступает в реакцию с первым полимером и модифицирует скорость распространения акустических волн вдоль первого слоя 41, который влияет на вторые отраженные волны E2. Первый слой 41 полимера также обеспечивает, что вторая часть поверхностных акустических волн 40 и вторые отраженные волны E2 могут распространяться вдоль подложки 36.

Первые отраженные волны E1 и вторые отраженные волны E2 преобразуются встречно-штыревым преобразователем IDT по меньшей мере в часть выходного электрического сигнала 32. Этот выходной электрический сигнал 32 представляет первые отраженные волны E1 и вторые отраженные волны E2.

В рассматриваемом примере, выходной электрический сигнал 32 также содержит информацию относительно третьих отраженных волн E3 и четвертых отраженных волн E4. Четвертые отраженные волны E4 могут содержать информацию относительно того, вступил ли второй слой 42 полимера в реакцию с указанным другим химическим компонентом.

Первые отраженные волны E1 служат временной опорой. Разница между вторыми отраженными волнами E2 и первыми отраженными волнами E1 представляет присутствие ВТЕХ-составляющей.

Разница между третьими отраженными волнами E3 и первыми отраженными волнами E1 представляет влияние температуры датчика 28. Эта разница может предпочтительно быть использована для коррекции/усовершенствования обнаружения ВТЕХ-составляющей.

Разница между четвертыми отраженными волнами E4 и первыми отраженными волнами E1 предпочтительно представляет обнаружение указанного другого химического компонента.

Антенна 24 преобразует выходной электрический сигнал 32 в радиолокационный сигнал отклика 22, который затем используется для обнаружения ВТЕХ-составляющей, и предпочтительно указанного другого химического компонента.

Благодаря приведенным выше признакам устройство 12 позволяет постоянно определять ВТЕХ-составляющие в жидкой фазе 23, доступ к которой затруднен

Пример

На датчик 28 воздействовали непрерывным потоком, сначала чистой воды для стабилизации базовой линии и затем жидкой фазы смеси воды с толуолом, содержащей концентрацию толуола, варьируемую от 0.052 до 0.52 г/л. Первый слой 41 полимера и второй слой 42 полимера представляют собой слои материала PЕСН толщиной 600 нм каждый.

Результаты показаны на фиг. 9, где разницы между третьими отраженными волнами E3 и первыми отраженными волнами E1 (кривая С7), между вторыми отраженными волнами E2 и первыми отраженными волнами E1 (кривая С8), и между четвертыми отраженными волнами E4 и первыми отраженными волнами E1 (кривая С9) выражены в форме фазового сдвига ϕ и представлены в функции времени в минутах.

Здесь фаза $\phi = 2\pi f \tau$, где f обозначает центральную частоту датчика и τ обозначает задержку отраженных волн во времени, при дифференциальных измерениях $d\phi = 2\pi f d\tau$, где $d\tau$ обозначает разницу между задержками во времени отраженных волн, используемую для определения вклада фазы радиолокатора GPR в диапазон датчика.

Такие циклы воздействия повторяли несколько раз, чтобы оценить воспроизводимость и обратимость реакции.

Поскольку толуол является летучим веществом, концентрация толуола в воде может с течением времени стать низкой, особенно когда раствор течет в открытой скважине, где находится датчик на поверхностной акустической волне (ПАВ (SAW)), периодический анализ поглощения излучения с длиной волны около 210 нм посредством спектроскопии в ультрафиолетовой и видимой частях спектра (UV-Vis) позволяет осуществлять мониторинг концентрации толуола в воде. Следовательно,

воспроизводимость отклика датчика оценивают не относительно номинальной концентрации толуола, а относительно измеренной концентрации толуола, которая по наблюдениям не претерпевает значительных изменений между входом и выходом, а только между одним измерением и другим.

Эти кривые, и в частности, разница между вторыми отраженными волнами E2 и первыми отраженными волнами E1, демонстрируют, что датчик 28 позволяет обнаруживать ВТЕХ-составляющую, например, толуол.

Когда имеются только три отражателя, такие как отражатели M1, M2 и M4 показанные на фиг. 1, первый слой 41 и второй слой 42 могут быть выполнены из одного и того же полимера, имеющего активные позиции, чувствительные к ВТЕХ-составляющей. Разность фаз между отраженными волнами E4 (которые в этом случае являются третьими отраженными волнами) и вторыми отраженными волнами E2 позволяет определить влияние расстояния между системой 18 и датчиком 28 и представляет присутствие ВТЕХ-составляющей.

Первый направляющий слой 43 может быть выполнен из другого материала, например, из металла или полимера, не имеющего активных позиций, чувствительных к ВТЕХ-составляющей. Разность фаз между отраженными волнами E4 (или вторыми отраженными волнами E2) и первыми отраженными волнами тогда позволяет определить влияние температуры.

В качестве альтернативы, первый направляющий слой 43 может содержать слой полимера, расположенный поверх слоя металла.

В качестве другого варианта, первый слой 41 и второй слой 42 могут быть выполнены из разных полимеров с активными позициями, чувствительными к различным ВТЕХ-составляющим, для определения двух компонентов. Первый направляющий слой 43 может быть выполнен из одного из полимеров, из металла, из полимера, не имеющего активных позиций, чувствительных к ВТЕХ-составляющей, или из полимера, нанесенного поверх металла.

Если имеются четыре отражателя (как показано на фиг. 2), присутствие четвертого слоя (такого как второй направляющий слой 45), выполненного из второго полимера, имеющего активные позиции, чувствительные к другой ВТЕХ-составляющей, порождает отраженные волны, содержащие информацию, представляющую присутствие указанной другой ВТЕХ-составляющей. Используя четыре отражателя, становится возможным определение влияния температуры и расстояния и обнаружение двух ВТЕХ-составляющих.

В приведенных выше примерах, слои полимеров или металла и направляющие слои распределены в зонах между преобразователем ИДТ и отражателями. Это означает только присутствие указанных слоев во всех зонах, но не показывает, как именно эти слои распределены между указанными зонами.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство (12) для беспроводного обнаружения присутствия ВТЕХ-составляющей в грунте (14), насыщенном водой, причем ВТЕХ-составляющая и вода образуют жидкую фазу (23), при этом устройство (12) содержит: антенну (24), выполненную с возможностью приема радиолокационного сигнала (20) и излучения радиолокационного сигнала отклика (22); оболочку (26), проницаемую для жидкой фазы (23); и датчик (28), расположенный внутри оболочки (26) и содержащий:

пьезоэлектрическую подложку (36), содержащую танталат лития, причем подложка (36) имеет поверхность (38), протяженную в продольном направлении (L),

встречно-штыревой преобразователь (IDT), расположенный на поверхности (38) и электрически соединенный с антенной (24) для приема входного электрического сигнала (30) от антенны (24) и передачи выходного электрического сигнала (32) к антенне (24), причем встречно-штыревой преобразователь (IDT) выполнен с возможностью преобразования входного электрического сигнала (30) в поверхностные акустические волны (40), распространяющиеся в продольном направлении (L),

первый отражатель (M1), расположенный на поверхности (38) и выполненный с возможностью приема первой части поверхностных акустических волн (40) и создания первых отраженных волн (E1), распространяющихся в направлении встречно-штыревого преобразователя (IDT), посредством механического отражения и/или переизлучения первой части поверхностных акустических волн (40),

второй отражатель (M2), расположенный на поверхности (38) и выполненный с возможностью приема второй части поверхностных акустических волн (40) и создания вторых отраженных волн (E2), распространяющихся в направлении преобразователя (IDT), посредством механического отражения и/или переизлучения второй части поверхностных акустических волн (40),

по меньшей мере первый слой (41) первого полимера, расположенный на поверхности (38) между преобразователем (IDT) и вторым отражателем (M2), причем первый полимер выполнен с возможностью вступать в реакцию с ВТЕХ-составляющей для модификации скорости распространения вторых отраженных волн (E2) вдоль первого слоя (41), и

по меньшей мере первый направляющий слой (43), содержащий металл и/или полимер, причем первый направляющий слой (43) расположен на поверхности (38) между преобразователем (IDT) и первым отражателем (M1),

при этом встречно-штыревой преобразователь (IDT) выполнен с возможностью преобразования первых отраженных волн (E1) и вторых отраженных волн (E2) по меньшей мере в часть выходного электрического сигнала (32), и

антенна (24) выполнена с возможностью преобразования выходного электрического сигнала (32) в радиолокационный сигнал отклика (22).

2. Устройство (12) по п. 1, в котором датчик (28) дополнительно содержит:

третий отражатель (M3), расположенный на поверхности (38) и выполненный с возможностью приема третьей части поверхностных акустических волн (40) и создания третьих отраженных волн (E3), распространяющихся в направлении преобразователя (IDT), посредством механического отражения и/или переизлучения третьей части поверхностных акустических волн (40), причем преобразователь (IDT) выполнен с возможностью приема третьих отраженных волн (E3) и преобразования третьих отраженных волн (E3) по меньшей мере в часть выходного электрического сигнала (32), и

второй направляющий слой (45), содержащий металл и/или полимер, причем второй направляющий слой (43) расположен на поверхности (38) между первым отражателем (M1) и третьим отражателем (M3).

3. Устройство (12) по п. 1 или 2, в котором датчик (28) дополнительно содержит:

четвертый отражатель (M4), расположенный на поверхности (38) и выполненный с возможностью приема четвертой части поверхностных акустических волн (40) и создания четвертых отраженных волн (E4), распространяющихся в направлении преобразователя (IDT), посредством механического отражения и/или переизлучения четвертой части поверхностных акустических волн (40), и

второй слой (42) второго полимера, расположенный на поверхности (38) между преобразователем (IDT) и четвертым отражателем (M4), причем второй полимер отличается от первого полимера и выполнен с возможностью вступать в реакцию с химическим компонентом в жидкой фазе (23) для модификации скорости распространения четвертых отраженных волн (E4) вдоль второго слоя (42),

при этом преобразователь (IDT) выполнен с возможностью приема четвертых отраженных волн (E4) и преобразования четвертых отраженных волн (E4) по меньшей мере в часть выходного электрического сигнала (32).

4. Устройство (12) по любому из пп. 1 – 3, в котором датчик (28) выполнен так, что поверхностные акустические волны (40), первые отраженные волны (E1) и вторые отраженные волны (E2) содержат волны Лява.

5. Устройство (12) по любому из пп. 1 – 4, в котором первый полимер содержит поли(эпихлоргидрин) или полиизобутилен.

6. Устройство (12) по любому из пп. 1 – 5, характеризующееся тем, что не содержит аккумуляторов или батареек.

7. Устройство (12) по любому из пп. 1 – 6, в котором преобразователь (IDT), первый отражатель (M1) и второй отражатель (M2) содержат алюминий.

8. Устройство (12) по любому из пп. 1 – 7, в котором одно или несколько из преобразователя (IDT), первого отражателя (M1) и второго отражателя (M2) представляют собой встречно-штыревые преобразователи, имеющие расщепленные штыри (52, 54), протяженные в поперечном направлении (T), перпендикулярном продольному направлению (L).

9. Устройство (12) по любому из пп. 1 – 8, в котором одно или несколько из преобразователя (IDT), первого отражателя (M1) и второго отражателя (M2) представляют собой встречно-штыревые преобразователи с синусоидальной аподизацией (S1, S2).

10. Устройство (12) по любому из пп. 1 – 9, в котором антенна (24) представляет собой широкополосную антенну (24).

11. Устройство (12) по любому из пп. 1 – 10, в котором антенна (24) имеет спиральную форму.

12. Устройство (12) по любому из пп. 1 – 11, в котором:
преобразователь (ISDT) выполнен с возможностью возбуждения поверхностных акустических волн (40), распространяющихся вдоль первого слоя (41) полимера и имеющих конкретную длину волны, и

первый слой (41) имеет толщину в направлении, перпендикулярном продольному направлению (L) и поперечному направлению (T), причем толщина составляет от 2% до 7% указанной длины волны.

13. Детекторная установка (13), содержащая:
по меньшей мере одно устройство (12) по любому из пп. 1 – 10, предназначенное для погружения в грунт (14) на расстоянии (H) от поверхности (16) грунта; и
систему (18), выполненную с возможностью излучения радиолокационного сигнала (20) и приема радиолокационного сигнала отклика (22), причем система (18) предназначена для расположения над грунтом (14).

14. Детекторная установка (13) по п. 13, в которой:
система (18) выполнена так, что радиолокационный сигнал (20) содержит некоторое число последовательных колебаний (56),

причем указанное число колебаний составляет от 8 до 12.

15. Способ обнаружения ВТЕХ-составляющей в грунте (14), насыщенном водой, причем вода и ВТЕХ-составляющая образуют жидкую фазу (23), при этом способ содержит этапы, на которых:

обеспечивают устройство (12) по любому из пп. 1 – 12 или детекторную установку (13) по п. 13 или 14,

принимают радиолокационный сигнал (20) антенной (24) и генерируют входной электрический сигнал (30),

принимают преобразователем (IDT) входной электрический сигнал (30) и преобразуют входной электрический сигнал (30) в поверхностные акустические волны (40), распространяющиеся в продольном направлении (L),

принимают первым отражателем (M1) первую часть поверхностных акустических волн (40) и создают первые отраженные волны (E1), распространяющиеся в направлении встречно-штыревого преобразователя (IDT), посредством механического отражения и/или переизлучения первой части поверхностных акустических волн (40),

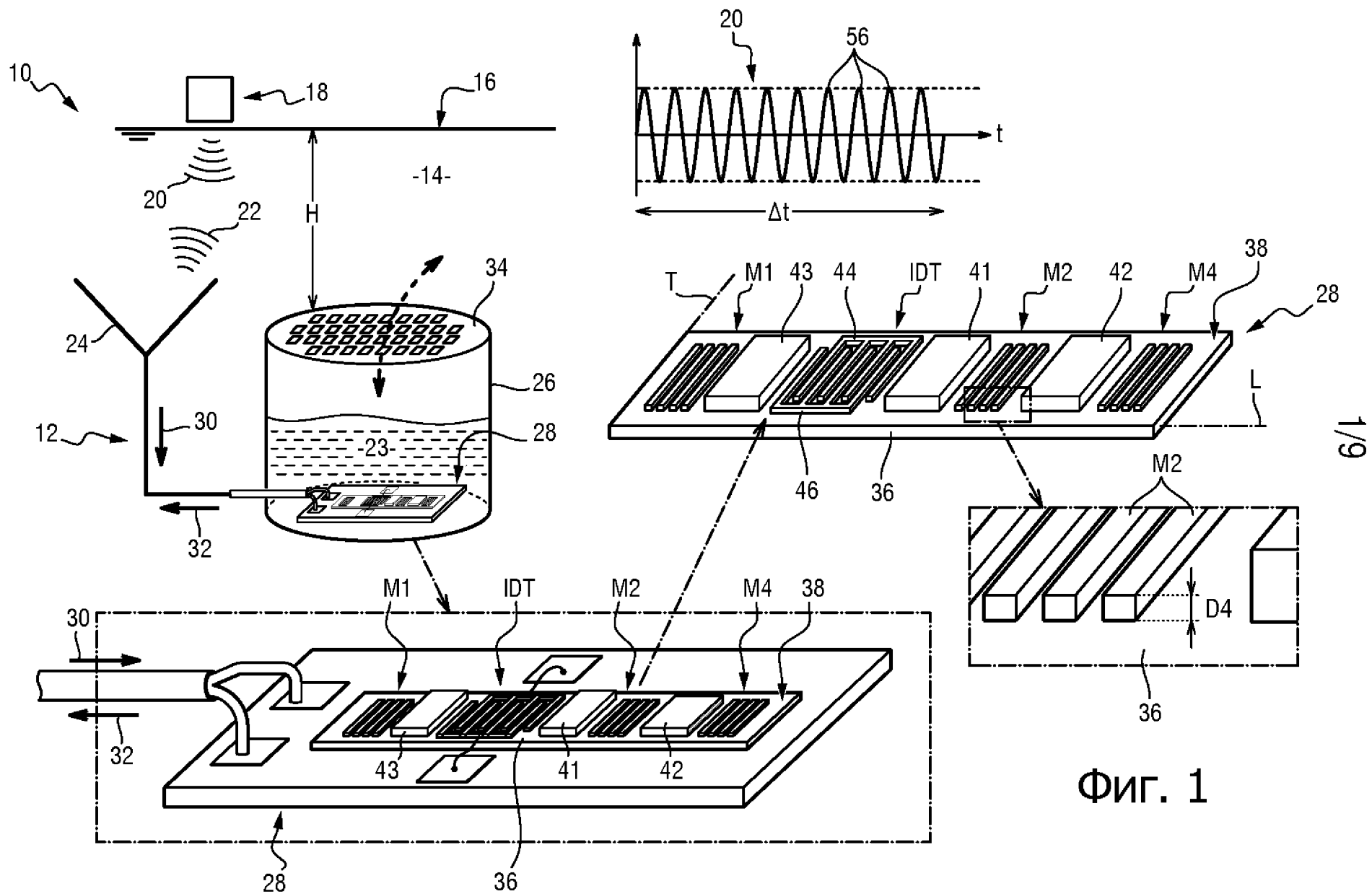
принимают вторым отражателем (M2) вторую часть поверхностных акустических волн (40) и создают вторые отраженные волны (E2), распространяющиеся в направлении преобразователя (IDT), посредством механического отражения и/или переизлучения второй части поверхностных акустических волн (40),

вызывают реакцию первого полимера с ВТЕХ-составляющей и модифицируют скорость распространения вторых отраженных волн (E2) вдоль первого слоя (41),

преобразуют первые отраженные волны (E1) и вторые отраженные волны (E2) посредством встречно-штыревого преобразователя (IDT) по меньшей мере в часть выходного электрического сигнала (32),

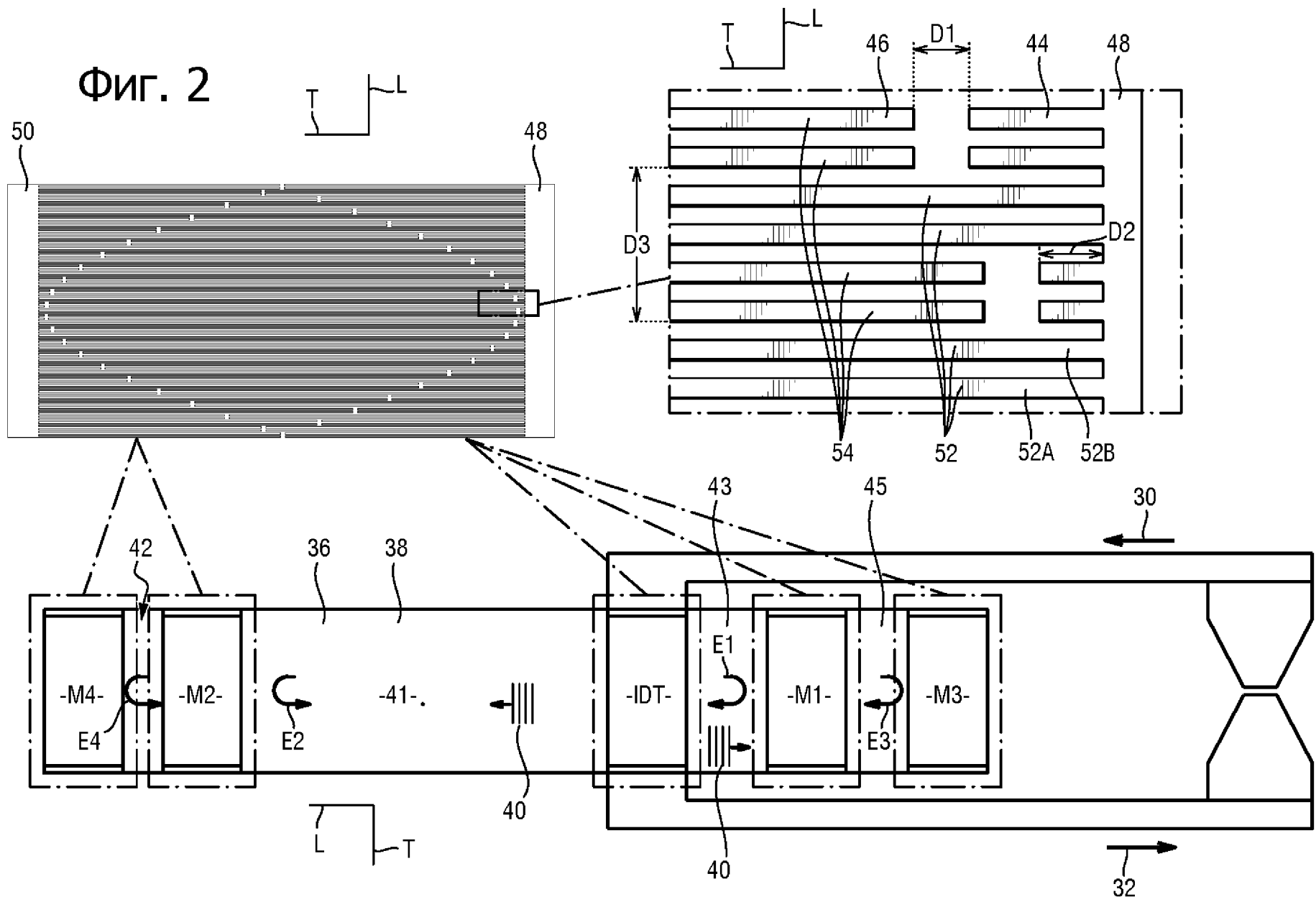
преобразуют антенной (24) выходной электрический сигнал (32) в радиолокационный сигнал отклика (22), и

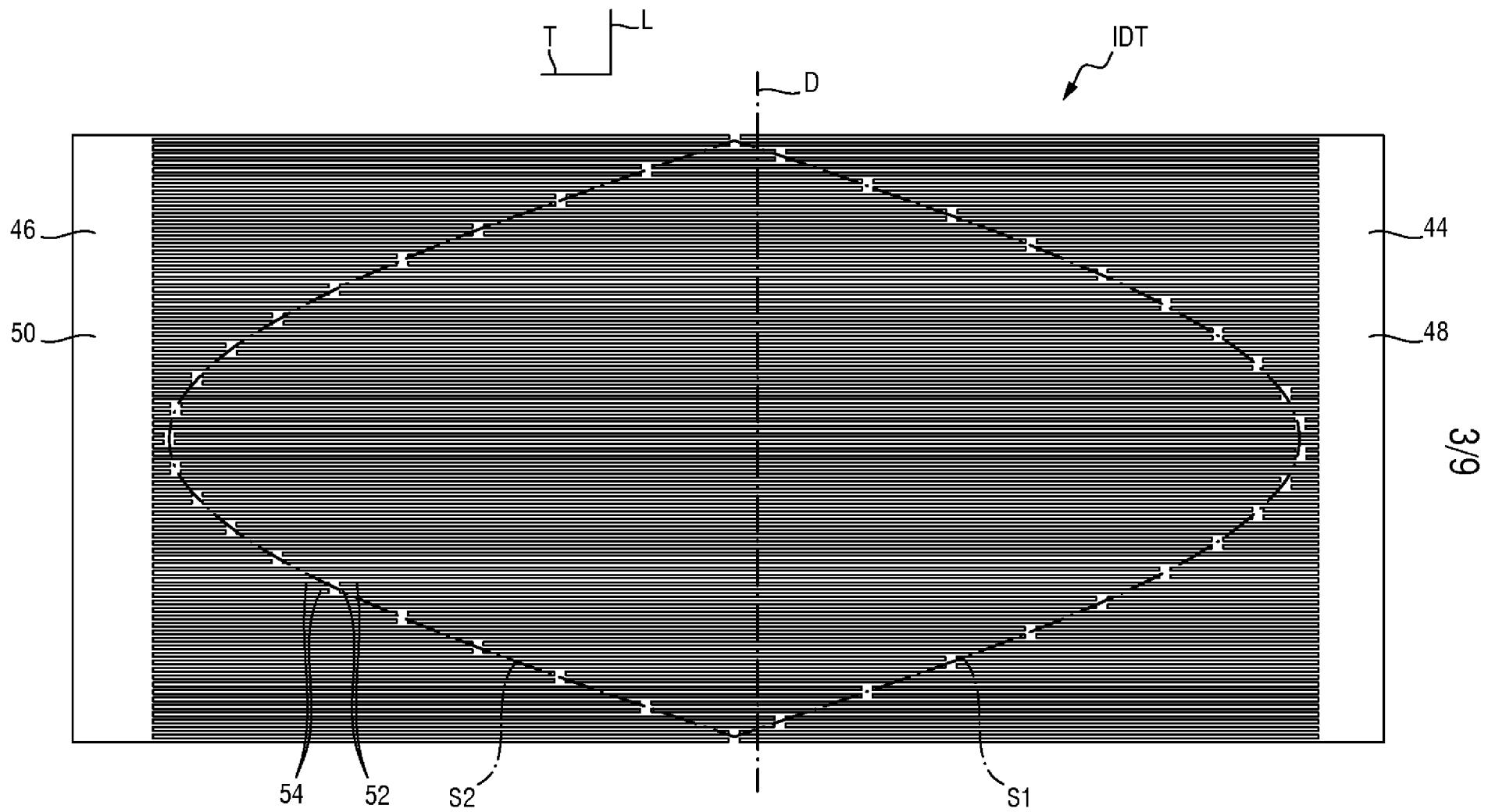
используют радиолокационный сигнал отклика (22) для обнаружения ВТЕХ-составляющей.



ФИГ. 1

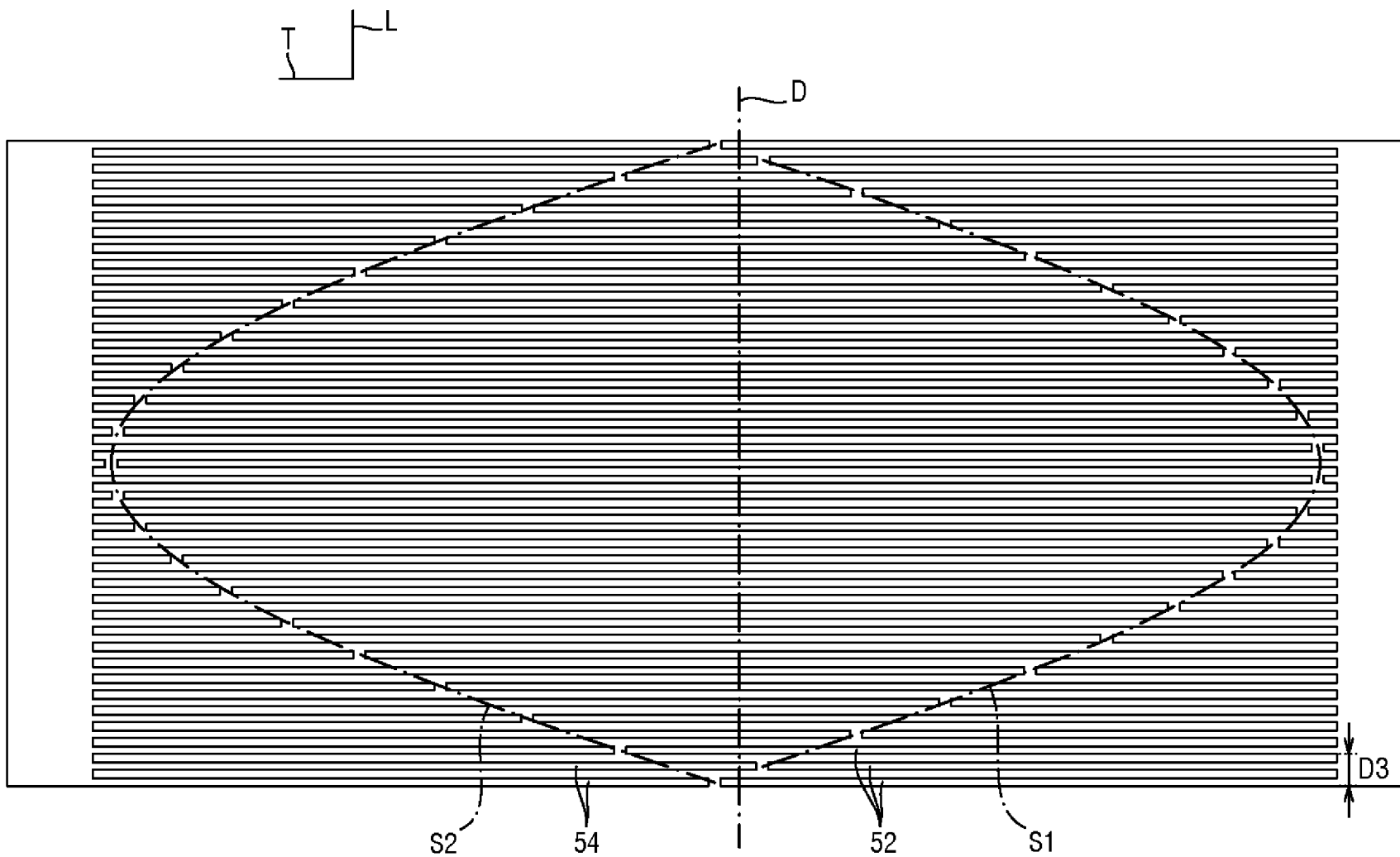
Фиг. 2





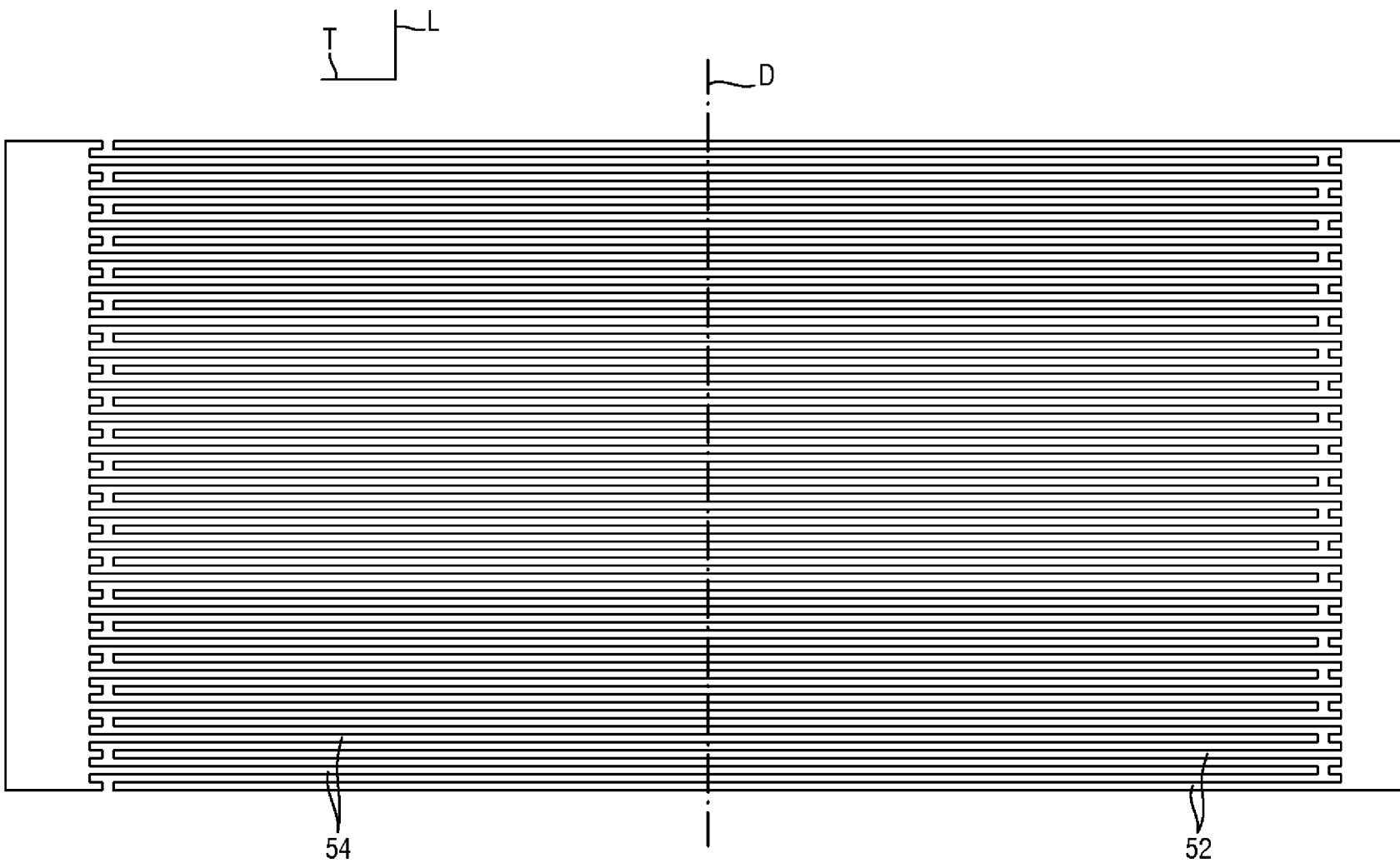
3/9

ФИГ. 3

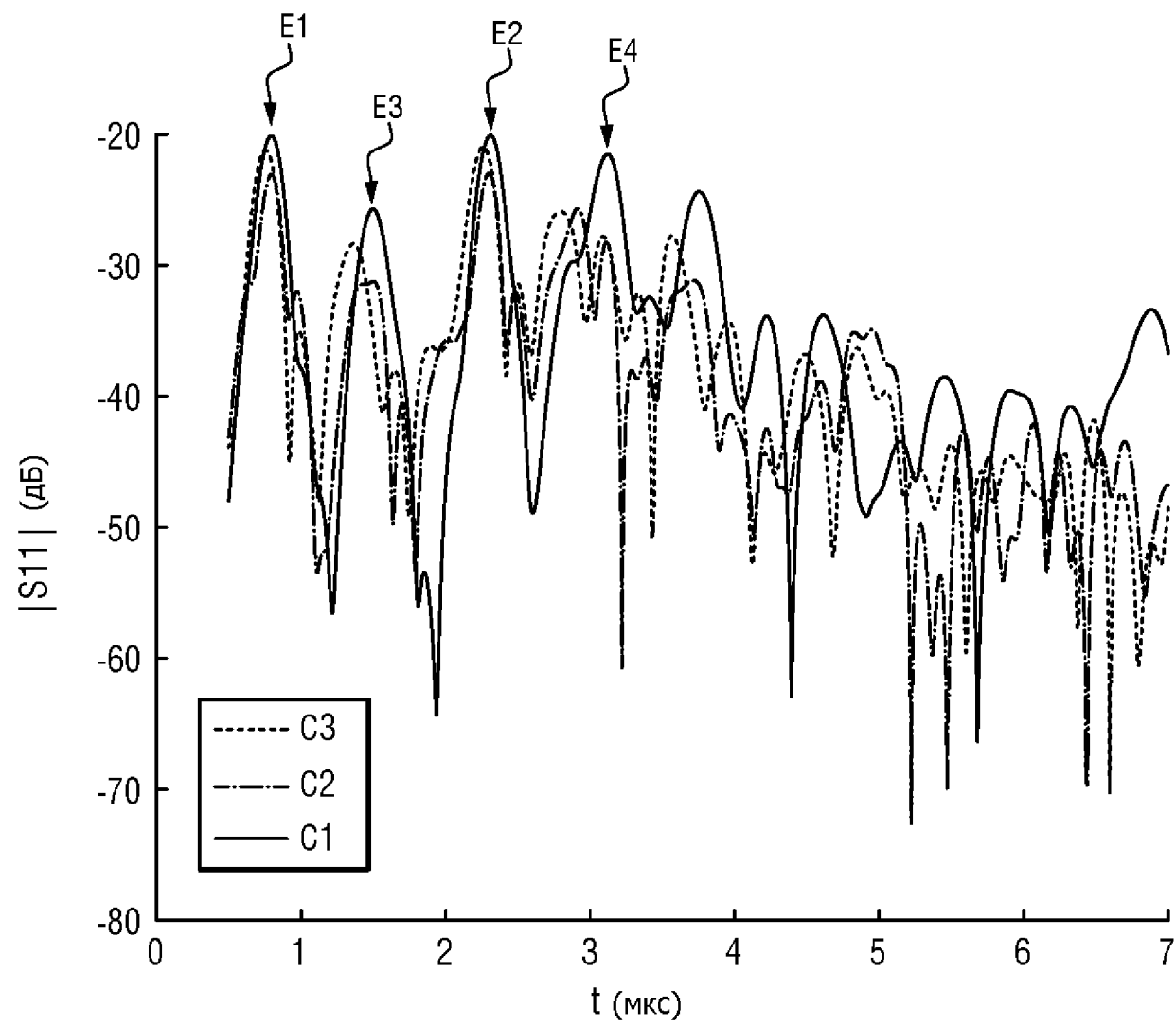


4/9

ФИГ. 4

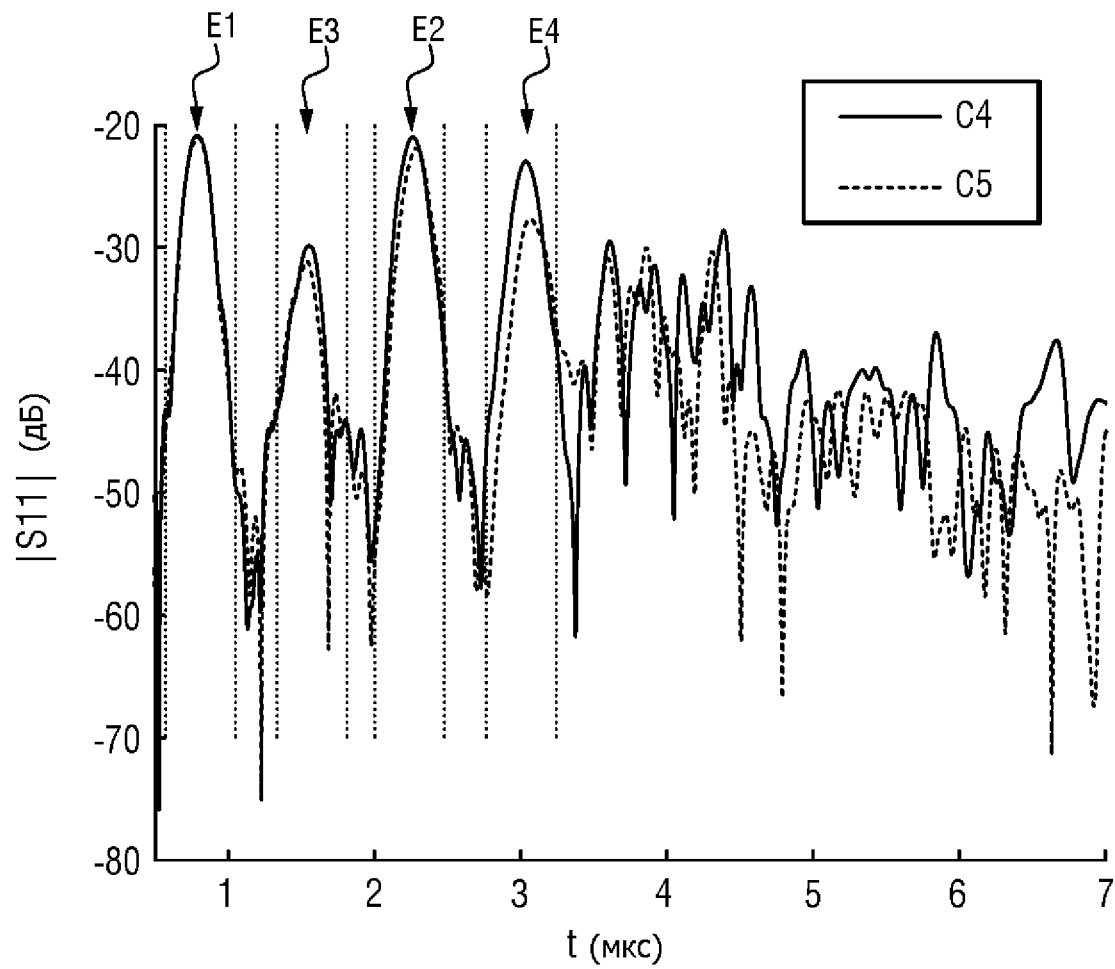


ФИГ. 5



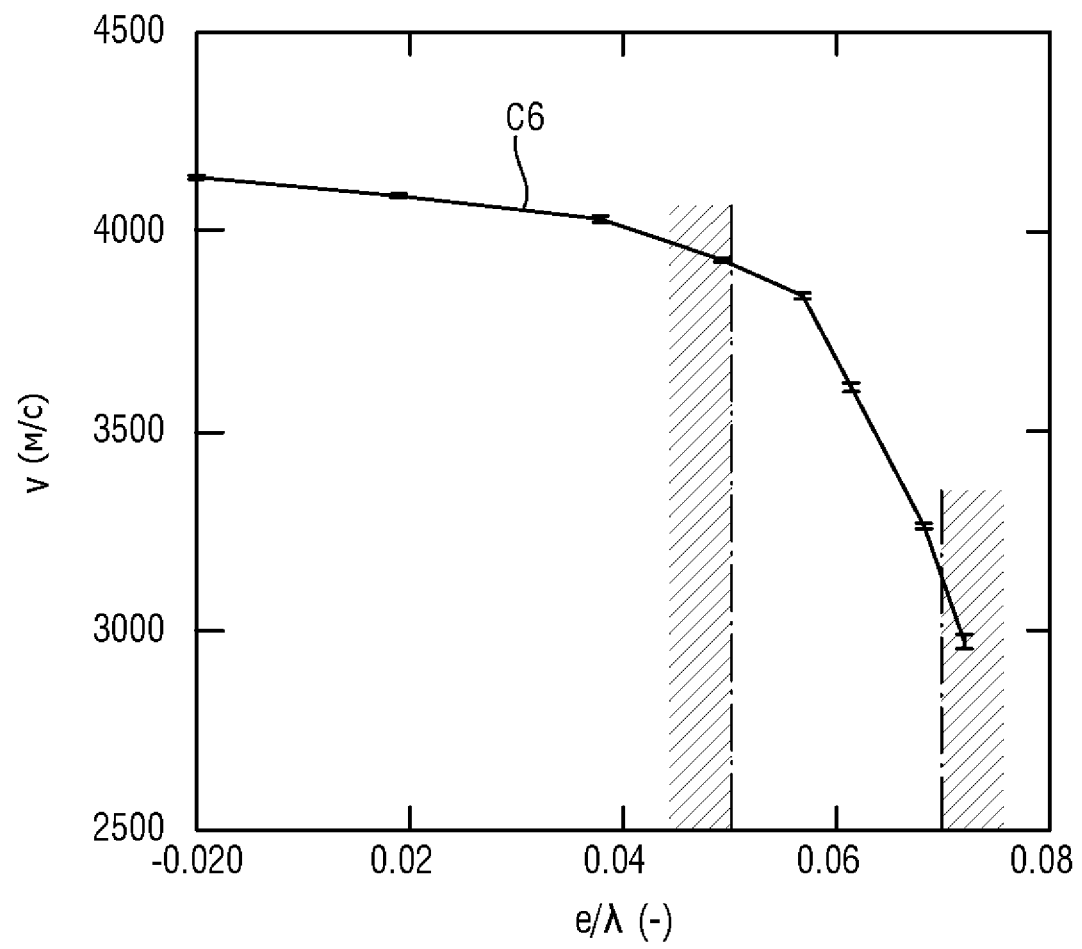
6/9

ФИГ. 6

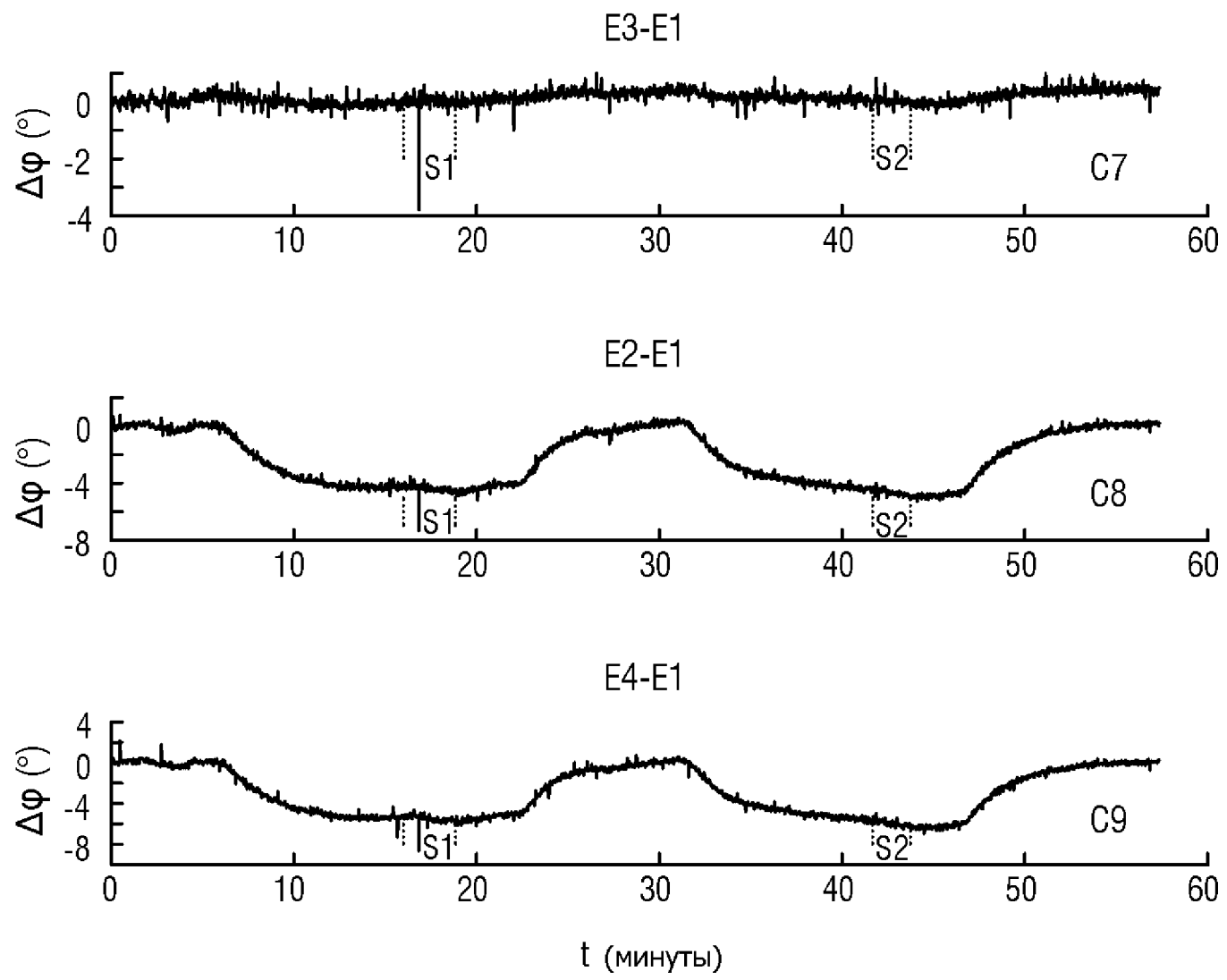


6/7

Фиг. 7



ФИГ. 8



6/6

ФИГ. 9