

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **22538**

(13) **С1**

(46) **2019.06.30**

(51) МПК

G 01N 25/00 (2006.01)

(54)

**СПОСОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ
ЖИДКОГО ПИЩЕВОГО РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА**

(21) Номер заявки: а 20160368

(22) 2016.10.10

(43) 2018.06.30

(71) Заявители: Государственное научное учреждение "Институт механики металлополимерных систем имени В.А.Белого Национальной академии наук Беларуси"; Учреждение образования "Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации" (ВУ)

(72) Авторы: Кадолич Жанна Владимировна; Зотов Сергей Валентинович; Гольдаде Виктор Антонович; Овчинников Константин Владимирович; Цветкова Елена Александровна (ВУ)

(73) Патентообладатели: Государственное научное учреждение "Институт механики металлополимерных систем имени В.А.Белого Национальной академии наук Беларуси"; Учреждение образования "Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации" (ВУ)

(56) SU 1383198 A1, 1988.

ВУ 12206 С1, 2009.

RU 2247968 С1, 2005.

RU 2210071 С2, 2003.

CN 103245628 A, 2013.

ЛЕМЕШЕВ С.А. и др. Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования. III Республиканская научно-техническая конференция молодых ученых, 2014. - С. 94-95.

(57)

1. Способ идентификации жидкого пищевого растительного масла, при котором проводят термоактивационную токовую спектроскопию путем равномерного нагрева от комнатной температуры до 100 °С смеси образца исследуемого масла с дисперсным диэлектрическим носителем в виде диоксида титана или диоксида кремния, расположенного между двумя электродами, получают спектры термостимулированных токов и идентифицируют видовую принадлежность жидкого растительного масла по расположению групп пиков термостимулированного тока в температурных диапазонах шириной не более 15 °С.

2. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что идентифицируют исследуемое масло как подсолнечное по двум группам пиков термостимулированного тока в температурных диапазонах 55-65 и 80-90 °С.

3. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что идентифицируют исследуемое масло как рапсовое по трем группам пиков термостимулированного тока в температурных диапазонах 35-40, 75-80 и 90-95 °С.

4. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что идентифицируют исследуемое масло как льняное по группе пиков термостимулированного тока в температурном диапазоне 55-70 °С.

5. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что идентифицируют исследуемое масло как оливковое по двум группам пиков термостимулированного тока в температурных диапазонах 65-70 и 83-97 °С.

ВУ 22538 С1 2019.06.30

6. Способ по п. 1, отличающийся тем, что идентифицируют исследуемое масло как кукурузное по двум группам пиков термостимулированного тока в температурных диапазонах 65-75 и 85-95 °С.

Изобретение относится к области физического анализа диэлектрических жидкостей, в частности растительных масел, выполняемого путем регистрации сигналов электрических токов.

Для пищевых продуктов корректная научно обоснованная оценка качества имеет большое значение. Жидкие растительные масла относятся к широко распространенным потребительским товарам и имеют высокий спрос на рынке. В Евразийском экономическом пространстве номенклатура жидких растительных масел постоянно расширяется и в настоящее время помимо традиционно используемого потребителями подсолнечного масла включает в заметном количестве оливковое, рапсовое, льняное и в меньшей степени кукурузное, тыквенное, ореховое масло. Расширение номенклатуры обуславливает повышение внимания ко всем аспектам качества масел, включая корректную идентификацию видовой принадлежности, степень очистки, отсутствие следов окислительной порчи, вредных веществ, не регламентированных добавок и иных следов фальсификации. Применение традиционных методов определения показателей качества растительных масел не всегда является исчерпывающим, ввиду чего целесообразен поиск новых подходов к их экспресс-оценке.

В этой связи представляется перспективным рассмотрение масла как объекта с определенными электрофизическими свойствами.

Каждому веществу в любом агрегатном состоянии соответствует комплекс электрофизических свойств, обусловленных специфическим электромагнитным состоянием его основных компонентов в их комбинации. В текучих жидких средах параметры электрофизических свойств зависят от структурированности жидкостей, определяемой физическим и/или физико-химическим взаимодействием между структурными элементами (молекулами, макромолекулами или надмолекулярными образованиями). Исходя из этого, любой электрофизический показатель жидкости может быть представлен как результирующий эффект такого взаимодействия. Параметры электрофизических свойств не являются константами, поскольку могут изменяться, откликаясь на внешние воздействия (термические, электромагнитные и др.). Известно, что жидкие растительные масла представляют собой типичную диэлектрическую среду (диэлектрическая проницаемость 2-3, удельное электрическое сопротивление свыше 10^{10} Ом·м). С этим связаны соображения о перспективности оценки свойств и структуры диэлектрических жидкостей, подобных маслам, электрофизическими и/или электромагнитными методами исследований.

В работе [1] высказано мнение, что любому веществу соответствует присущее только ему внутреннее электромагнитное состояние, которое в силу безынерционности своих носителей (электронов, ионов) адекватно реагирует на изменение состава (строения, структуры, примесей и пр.) и мгновенно откликается на воздействие внешнего переменного электромагнитного поля. Предложено создавать в малом объеме измеряемой жидкости периодическое (синусоидальное) переменное поле. Электронный блок задает в образующейся цепи электромагнитные колебания и регистрирует отклик электромагнитного состояния жидкости на произведенное воздействие в виде электрофизических показателей (удельной активной проводимости, измеренной при разных частотах, отношения проводимостей при этих частотах; относительной диэлектрической проницаемости при разных частотах и их приращений и др.). Эти показатели имеют в основном интегральный характер, показывая суммарное изменение (накопление или удаление) нескольких структурных единиц состава жидкости. В то же время они позволяют отслеживать наличие в жидкости примеси или нового компонента.

Такой подход является основой для разработки множества методик аналитического приборостроения жидких веществ [2]. Обнаружена способность жидкости сохранять неизменную электропроводность в интервале температур от точки кипения до точки замерзания (кристаллизации) при строго определенной для каждой жидкости частоте, названной характеристической частотой, причем соответствующая этой частоте электропроводность названа характеристической электропроводностью. Также установлено, что точка пересечения частотно-температурных зависимостей для отдельного вида жидкости является индивидуальным показателем его внутреннего электромагнитного состояния [3]. На основе этого подхода удалось определить вид растительного масла (подсолнечное, кукурузное, оливковое), степень очистки (рафинации) и степень старения (деградации), что делает возможным, в частности, определение фальсификации растительных масел (не-санкционированного смешения разных видов).

Известен ряд технических решений по определению качества жидкостей, аналогичных маслам, по их электрофизическим показателям.

Согласно способу определения рода жидкостей [4] измеряют удельные активные электропроводности жидкости при изменении диапазона частот электромагнитных колебаний от 1 кГц до 1 МГц для двух любых температур от точки кипения до точки замерзания. По пересечению зависимостей удельных электропроводностей от частоты колебаний находят характеристическую частоту колебаний электромагнитного поля. Недостатком способа является то, что в нем не описана процедура, как именно использовать электрический параметр жидкости - характеристическую частоту колебаний электромагнитного поля - в качестве критерия определения рода жидкости.

Известен способ контроля качества (безопасности) растительных масел и расплавленных жиров [5], согласно которому измеряют удельную активную электропроводность растительного масла или расплавленного жира при различных частотах электромагнитных колебаний и разных температурах. Отбирают пробу исследуемого растительного масла или жира, делят пробу на две части, одну из которых подвергают окислению на воздухе при температурах 100-110 °С до перекисного числа 10-12 мэкв/кг активного кислорода, перекисное число масла или жира определяют стандартными методами, затем готовят калибровочный образец растительного масла или расплавленного жира с максимально допустимым для пищевого масла или жира содержанием перекисных соединений (10 мэкв активного кислорода/кг), смешивая в определенных соотношениях по массе исходный и окисленный образец масла или жира, и измеряют в полученном калибровочном образце в диапазоне частот от 1 до 200 кГц зависимость удельной активной электропроводности от частоты при двух температурах измерения. По пересечению указанных зависимостей находят характеристическую частоту электромагнитного поля, при которой характеристическая удельная активная электропроводность не зависит от температуры измерения, считают полученные значения характеристической частоты и характеристической удельной активной электропроводности максимально допустимыми нормативными значениями характеристической частоты и характеристической удельной активной электропроводности для данного пищевого масла или жира. Техническим результатом является разработка оперативного способа контроля снижения качества (безопасности) растительного масла при хранении на основе измерения его характеристической частоты колебаний и характеристической удельной активной электропроводности. Недостатком способа является отсутствие указания, какие физические и/или физико-химические эффекты ответственны за возникновение э/м отклика.

Дальнейшим развитием этого подхода является способ контроля степени очистки по стадиям рафинации растительных масел [6], по которому определяют в диапазоне электромагнитных колебаний от 1 до 200 кГц показатели характеристической частоты и характеристической удельной активной электропроводности данного вида растительного масла после каждой стадии регламентированного технологического процесса рафинации,

которые считают нормативными. Отклонения характеристической удельной активной электропроводности, измеренной при характеристической частоте э/м поля на отдельных стадиях, от нормативной используют как критерий отклонения степени очистки масла после каждой стадии процесса рафинации от установленной для соответствующей корректировки параметров технологического процесса. Техническим результатом является разработка единого оперативного способа контроля степени очистки растительного масла после каждой стадии рафинации или после важнейших из этих стадий для установления соответствия степени очистки масла требованиям действующего технологического регламента на основе измерения характеристической частоты и характеристической удельной активной электропроводности растительного масла после каждой стадии рафинации. Недостатком способа также является отсутствие указания, какие физические и/или физико-химические механизмы действуют при изменении величины характеристической удельной активной электропроводности образца.

Представляется, что преодоление вышеуказанных недостатков э/м методов возможно путем исследования электрофизических эффектов, вызванных специфическими процессами, протекающими в структурированной диэлектрической жидкости при равномерном нагреве.

Известно устройство для измерения качества и/или деградации жидкости, а именно пищевого растительного масла [7], которое содержит по меньшей мере одну пару электродов, расположенных друг напротив друга и погруженных в измеряемую жидкость, при этом электроды и жидкость образуют емкостной измерительный элемент, который способен выдавать электрический сигнал, пропорциональный величине диэлектрической проницаемости жидкости. По величине полученного выходного сигнала определяют уровень качества или степень деградации жидкости. Недостаток данного решения заключается в том, что оно не обеспечивает необходимой чувствительности и точности измерений на ранних стадиях окислительной порчи жидкого масла, на которых величина диэлектрической проницаемости подобных веществ изменяется незначительно.

С учетом вышеуказанных данных более целесообразно использовать метод анализа, позволяющий получить отклик на изменение электрофизического состояния масла в виде более четко выраженного и легко идентифицируемого электрического сигнала. Таким методом является термоактивационная токовая спектроскопия [8, 9]. Метод предполагает нагревание с постоянной скоростью размещенного между электродами образца и получение графиков зависимости протекающего во внешней цепи электрического тока от температуры - спектров термостимулированных токов. Причиной протекания токов является интенсификация в образце теплового движения частиц, разрушающего поляризованное состояние анализируемого образца, что сопровождается высвобождением носителей заряда из ловушек и их движением к электродам в собственном поле образца. По характеру спектров термостимулированных токов анализируют процессы поляризации-деполяризации, опираясь на развиваемые в физике диэлектриков представления об электрентном состоянии в веществе.

Прототипом изобретения является техническое решение [10], которое предлагает способ термоактивационной токовой спектроскопии диэлектрической жидкости. Способ включает нагрев смеси жидкости с дисперсным диэлектрическим носителем, расположенной между двумя электродами, отличающийся тем, что жидкость представляет собой растительное масло из ряда "подсолнечное-рапсовое-льняное", диэлектрический носитель представляет собой порошок диоксида титана с размером частиц 10-15 мкм, массовое соотношение диэлектрического носителя и жидкости в смеси составляет 2:1, а нагрев смеси осуществляют со скоростью не более 1 °С/мин. Способ позволяет получить электрический сигнал, образующий спектры термостимулированных токов и исключить вытекание анализируемой жидкости из измерительной ячейки.

Достоинством прототипа являются:

его нацеленность на термоактивационную токовую спектроскопию как перспективный метод анализа электрофизических свойств диэлектрической жидкости;

исследование образца со стабильной консистенцией, содержащего однородную диэлектрическую жидкость, не вытекающую из измерительной ячейки в процессе нагрева;

иллюстрация методологической применимости термоактивационной токовой спектроскопии по отношению к жидким растительным маслам.

Недостатком прототипа является отсутствие возможности идентификации видовой принадлежности растительных масел, что обусловлено отсутствием объяснения механизмов, ответственных за возникновение индивидуального (характеристического) спектра термостимулированных токов в исследуемых образцах растительного масла.

Задачей заявляемого изобретения является идентификации видовой принадлежности жидких растительных масел в результате проведения термоактивационной токовой спектроскопии с выделением индивидуальных (характеристических) спектров термостимулированных токов.

Поставленная задача решается тем, что в дополнение к реализуемому в способе-прототипе методу анализа, включающему проведение термоактивационной токовой спектроскопии путем равномерного нагрева от комнатной температуры до 100 °С смеси образца масла с дисперсным диэлектрическим носителем в виде диоксида титана или диоксида кремния, расположенной между двумя электродами, с получением спектров термостимулированных токов, заявляемый способ направлен на определение по полученным характеристическим спектрам термостимулированных токов конкретной видовой принадлежности жидких растительных масел путем выявления расположения наиболее выраженных групп токовых пиков в температурных диапазонах шириной не более 15 °С. В частности, исследуемое масло идентифицируют как подсолнечное по двум группам пиков термостимулированного тока в температурных диапазонах 55-65 и 80-90 °С, как рапсовое по трем группам пиков термостимулированного тока в температурных диапазонах 35-40, 75-80 и 90-95 °С, как льняное по группе пиков термостимулированного тока в температурном диапазоне 55-70 °С, как оливковое по двум группам пиков термостимулированного тока в температурных диапазонах 65-70 и 83-97 °С, как кукурузное по двум группам пиков термостимулированного тока в температурных диапазонах 65-75 и 85-95 °С.

Сущность изобретения основана на двух взаимосвязанных обстоятельствах.

Во-первых, наличие отличных от нуля термостимулированный ток однозначно указывает на то, что вблизи соответствующих температур происходят физико-химические процессы, связанные с образованием носителей электрических зарядов. Оценка факторов, обуславливающих высвобождение зарядов, приводит к предположению о наличии в масле структурных элементов, при нагревании распадающихся или видоизменяющихся именно указанным образом, т.е. с высвобождением свободного заряда.

Во-вторых, основным компонентом жидких растительных масел являются триглицериды жирных кислот - насыщенных (тип 1), мононенасыщенных (тип 2) и полиненасыщенных (тип 3). Фрагменты молекул триглицеридов (такие, как кислородсодержащие группы и участки с ненасыщенными связями), имеют избыточный (относительно всей молекулы) электрический заряд и способны к кулоновскому взаимодействию. Являясь функционально активными зонами, они также могут вступать друг с другом в физико-химическое взаимодействие, например, по механизму образования водородных связей. Возникающие при этом ассоциаты нескольких молекул триглицеридов фактически являются системами со "связанным" зарядом, высвобождение которого возможно при термически стимулированном разрушении этих малостабильных образований. В ходе нагрева электрически нейтральная диэлектрическая среда "порождает" локальные заряды, движение которых представляет собой электрический ток. Интенсивность тока и температура, при которой он протекает, зависят от типа разрушаемого надмолекулярного образования.

Таким образом, ток во внешней цепи даже при отсутствии в образцах масла классической поляризации и свободных носителей зарядов является откликом на физико-химические процессы в этих образцах. Процесс возникновения токовых пиков в различных маслах может быть обусловлен следующими механизмами:

ассоциаты, образованные триглицеридами типа 1, должны быть малостабильными ввиду сравнительно слабых возможностей насыщенных жирных кислот по реализации межмолекулярных взаимодействий, поэтому термическое разрушение данного типа ассоциатов следует ожидать при сравнительно низких температурах, ввиду чего с ним могут быть соотнесены низкотемпературные токовые пики;

триглицериды типа 2, помимо кислородсодержащих групп, имеют двойную связь, т.е. область локализации (в масштабе молекулы и ее ближайшего окружения) электрического заряда отрицательной полярности. Эти фрагменты молекулы обладают возможностями для формирования ассоциатов по двум типам межмолекулярных взаимодействий. Один из них - взаимодействие кислородсодержащих групп, второй - реализация донорно-акцепторного механизма путем передачи электронной пары от двойной связи одной молекулы (донор) к фрагментам другой молекулы с недостатком электронной плотности (акцептор). С разрушением этого типа ассоциатов могут быть соотнесены среднетемпературные токовые пики;

триглицериды полиненасыщенных жирных кислот (кислородсодержащие группы и несколько двойных связей) обладают наиболее богатыми возможностями по реализации межмолекулярных взаимодействий. Их концентрация (23 %) позволяет считать, что часть из них образует ассоциаты, образованные по двум типам межмолекулярных взаимодействий и разрушающиеся при наиболее высокой температуре.

Приведем примеры реализации изобретения.

Измерительная система включала экранированную ячейку с системой электродов (заземленный и измерительный), программатор температуры, пикоамперметр с диапазоном измеряемых токов 10^{-3} - 10^{-13} и компьютер. Результаты анализа в цифровом виде обрабатывали с получением спектров термостимулированных токов. Количество повторных экспериментов не менее 10 для каждого вида масла с усреднением данных.

Токовые спектры масел имеют экстремальные области (группы токовых пиков), располагающиеся в разных температурных диапазонах и имеющие интенсивность от 1 до $2 \cdot 10^{-12}$ А. Расположение групп токовых пиков является характеристическим для каждого из исследованных видов масел и коррелирует с их индивидуальным жирнокислотным составом. На фиг. 1 изображены спектры термостимулированных токов подсолнечного масла: 1 - исходный образец; 2 - образец после термообработки.

Подсолнечное масло демонстрирует широкие плавные симметричные пики: отрицательный с максимумом вблизи 60°C и положительный с максимумом вблизи 85°C .

В подсолнечном масле содержится 8-10 % насыщенных (тип 1), 23-50 % мононенасыщенных (тип 2) и 40-70 % полиненасыщенных (тип 3) жирных кислот. Ввиду низкой концентрации малостабильных триглицеридов типа 1 термическое разрушение (иначе говоря, деструкция-деполяризация) их ассоциатов происходит без значительных электрических эффектов, ввиду чего низкотемпературный токовый пик практически не выражен. При более высокой температуре фиксируется пик деструкции-деполяризации более стабильных ассоциатов типа 2, а при наибольшей температуре - пик деструкции-деполяризации наиболее стабильных ассоциатов типа 3. На фиг. 2 изображены спектры термостимулированных токов рапсового масла: 1 - исходный образец; 2 - образец после термообработки. Рапсовое масло демонстрирует три группы токовых пиков в температурных диапазонах $35-40$, $75-80$ и $90-95^\circ\text{C}$. Триглицериды насыщенных жирных кислот (тип 1) в составе рапсового масла составляют 8 %, мононенасыщенных - 69 % (тип 2, из них 61 % олеиновой кислоты), полиненасыщенных - 23 % (тип 3) Низкая концентрация малостабильных триглицеридов типа 1 в комбинации с иным, чем у подсолнечного масла, содержанием триг-

лицеридов типов 2 и 3 обуславливает возникновение слабого низкотемпературного токового пика в диапазоне 35-0 °С. Ввиду преобладания в составе рапсового масла триглицеридов типа 2 (69 %) концентрация их ассоциатов должна быть наиболее высокой, а их термическая стабильность достаточно высокой из числа вышеперечисленных основных компонентов. С деструкцией-деполяризацией этого типа ассоциатов может быть соотнесен высокоинтенсивный максимум токового пика в температурном диапазоне 75-80 °С. Преобладающая в них часть триглицеридов типа 3 (23 %) образует ассоциаты, образованные по нескольким типам межмолекулярных взаимодействий и разрушающиеся при 90-95 °С. На фиг. 3 спектры термостимулированных токов льняного масла: 1 - исходный образец; 2 - образец после термообработки. Льняное масло имеет группу из двух пиков в диапазоне 55-70 °С. Жирнокислотный состав льняного масла колеблется в достаточно широких пределах: α -линолевая кислота - 44-61 %, линолевая - 15-30 %, олеиновая - 13-29 %, насыщенные кислоты - 9-11 %. По-видимому, зарегистрированные спектры термостимулированных токов соответствуют деструкции-деполяризации наиболее многочисленных близких по структуре и составу ассоциатов, составленных триглицеридами α -линолевой (Омега-3) и линолевой (Омега-6) кислот, на фоне которых вклад других ассоциатов оказался незначительным.

На фиг. 4 изображены спектры термостимулированных токов оливкового масла: 1 - исходный образец; 2 - образец после термообработки. Оливковое масло имеет две группы пиков в диапазонах 65-70 и вблизи 90 °С. Оливковое масло содержит главным образом олеиновую кислоту (до 84 %, мононенасыщенная) и линолевую кислоту (7-13 %, полиненасыщенная), а также малые количества линоленовой кислоты (полиненасыщенная). Среднетемпературную экстремальную область на спектре термостимулированных токов можно сопоставить с деструкцией-деполяризацией малостабильных ассоциатов, составленных триглицеридами мононенасыщенной олеиновой кислоты (тип 2), а высокотемпературную - более стабильных ассоциатов, составленных триглицеридами полиненасыщенных кислот (тип 3). На фиг. 5 изображены спектры пиков термостимулированных токов кукурузного масла: 1 - исходный образец; 2 - образец после термообработки. Кукурузное масло имеет 2 группы пиков в диапазонах 65-75 и 85-95 °С. В составе кукурузного масла преобладают мононенасыщенная олеиновая (42-48 %) и полиненасыщенная линолевая (40-48 %) кислоты [49]. Базируясь на вышеприведенных выводах, термостимулированные токи можно соотнести с деструкцией-деполяризацией двух групп ассоциатов, связывающих триглицериды этих кислот, которые различаются по термической стабильности.

Получение данных, позволяющих определить индивидуальную видовую принадлежность жидких масел по спектрам ТСТ, свидетельствует о том, что задачи изобретения решены.

В дополнение к этому установлено, что на всех спектрах термостимулированных токов термообработанных путем доведения до кипения образцов масел (кривые 2 на фиг. 1-5) обнаружено частичное либо полное вырождение некоторых характеристических токовых пиков, а также возникновение новых слабовыраженных пиков. По-видимому, эти новые электрические сигналы отвечают деструкции-деполяризации надмолекулярных ассоциатов, образованных возникшими в образце продуктами термоокисления и имеющих вследствие этого искаженную структуру, а также, возможно, деполяризации разнообразных низкомолекулярных осколков ассоциатов, возникших при терморазложении структуры масла. Очевидно, что по факту наличия на спектре анализируемого образца большего количества групп токовых пиков, чем характерно для заявленного типа масла, можно зарегистрировать либо наличие в образце более чем одного вида масла, либо повышенное содержание в образце продуктов окисления. Тем самым, наличие нехарактерных токовых пиков может явиться иллюстрацией присутствия в масле не свойственных ему примесей, т.е. несоответствия данного масла заявленному виду и/или уровню качества.

Изобретение может найти применение в экспресс-оценке качества жидких растительных масел.

Источники информации:

1. Белов В.П., Иголкин Б.И., Тулин Е.В. Электрофизический (электромагнитный) способ определения изменения качества жидких веществ - основа методик аналитического приборостроения // Здоровье - основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. - 2013. - № 2. - Т. 8. - С. 872-875.

2. Якушев В.П. и др. Методы анализа, основанные на взаимосвязи физико-химического и электромагнитного состояний вещества, - приоритетное направление развития аналитического приборостроения и роботизированных систем точного земледелия. Современное приборное обеспечение и методы анализа почв, кормов, растений и сельскохозяйственного сырья: матер. междунар. конф., Москва (Россия), ВНИИА, 2-4 декабря 2003 года. - М.: ВНИИА, 2003.

3. Иголкин Б.И. и др. Электропроводность растительных масел в зависимости от температуры и частоты электромагнитных колебаний // Научно-технические ведомости СПбГПУ. - 2011. - № 2. - С. 278-282.

4. Патент РФ 2383010, 2010.

5. Патент РФ 2507511, 2014.

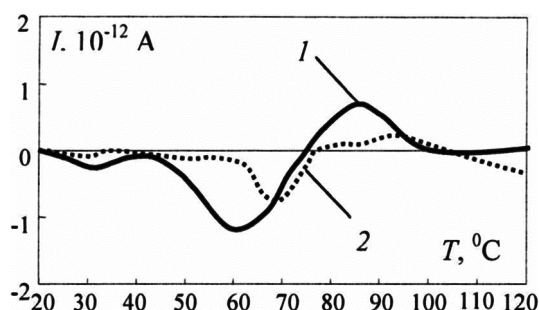
6. Патент РФ 2517763, 2014.

7. EP 1439388, 2004.

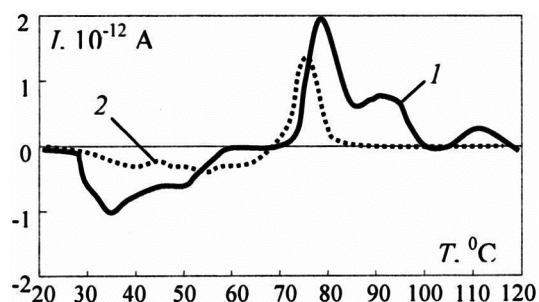
8. ГОСТ 25209-82. Пластмассы и пленки полимерные. Методы определения поверхностных зарядов электретов.

9. Гороховатский Ю.А., Бордовский Г.А. Термоактивационная токовая спектроскопия высокоомных полупроводников и диэлектриков. - М.: Наука, 1991. - 248 с.

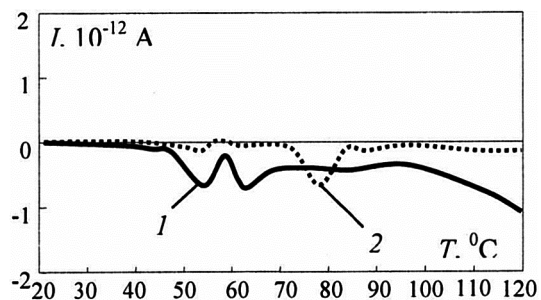
10. Заявка на выдачу патента РБ на изобретение 20150180, 2015 (прототип).



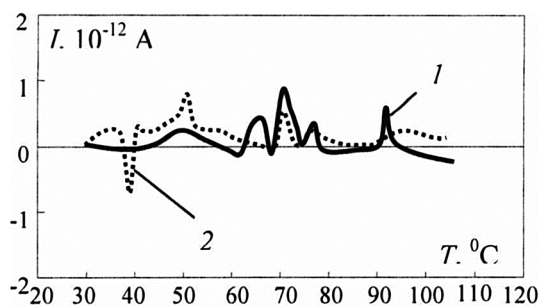
Фиг. 1



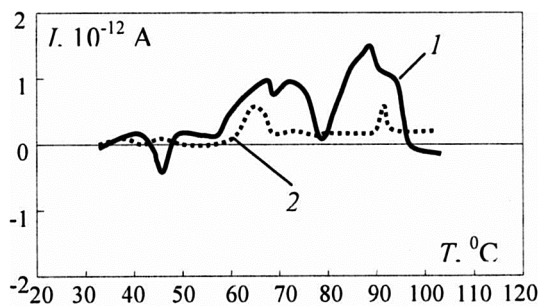
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5