

(19)



(11)

EP 2 297 540 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
14.02.2018 Patentblatt 2018/07

(51) Int Cl.:
F04B 19/00 ^(2006.01) **F28D 15/00** ^(2006.01)
F28F 13/16 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **09779702.1**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2009/057159

(22) Anmeldetag: **10.06.2009**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2010/003752 (14.01.2010 Gazette 2010/02)

(54) KAPAZITIVE VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM ELEKTROSTATISCHEN TRANSPORT DIELEKTRISCHER UND FERROELEKTRISCHER FLUIDE

CAPACITIVE DEVICE AND METHOD FOR THE ELECTROSTATIC TRANSPORT OF DIELECTRIC AND FERROELECTRIC FLUIDS

DISPOSITIF CAPACITIF ET PROCÉDÉ DE TRANSPORT ÉLECTROSTATIQUE DE FLUIDES DIÉLECTRIQUES ET FERROÉLECTRIQUES

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorität: **07.07.2008 DE 102008040225**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
23.03.2011 Patentblatt 2011/12

(73) Patentinhaber: **Robert Bosch GmbH**
70442 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder: **PROEPPER, Thomas**
72762 Reutlingen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 1 754 957 WO-A-02/07292
WO-A-2004/001944 DE-A1- 4 012 268
DE-A1-102007 018 752 US-A- 3 906 415
US-A- 4 220 195 US-A- 4 396 055
US-A- 4 774 453 US-A1- 2002 122 728
US-A1- 2003 098 588 US-A1- 2007 044 572
US-B1- 7 133 786

EP 2 297 540 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Förderung fluider Medien.

Stand der Technik

[0002] Zur Kühlung elektrischer, elektronischer oder mikromechanischer Baugruppen und integrierter Schaltungen ist die mittels Turbo- oder Verdrängerpumpen angetriebene Konvektion flüssiger oder gasförmiger Fluide verbreitet. Das umgewälzte Fluid nimmt die Wärme an der heißen, kleinen Oberfläche des zu kühlenden Bauelements mittels thermischer Diffusion auf und überträgt sie auf einen Wärmetauscher mit großer Oberfläche in Gestalt dünner Lamellen oder Rippen auf der Systemoberfläche, in der Regel das gut wärmeleitende Gehäuse der Baugruppe. Günstig wirkt sich Medienströmung an der Außenoberfläche aus, sie wirkt Grenzschichteffekten entgegen, die den Wärmetransfer ungünstig beeinflussen.

[0003] Die mittels Pumpen oder Gebläsen angetriebene (erzwungene) Kühlmittelumwälzung erfordert gegenüber dem passiven Wärmetransfer durch thermische Diffusion einen erhöhten konstruktiven Aufwand. Zudem wird elektrische oder mechanische Antriebsleistung aufgenommen und damit die Gesamtverlustleistung erhöht.

[0004] Verbreitet ist die Kühlung leistungselektronischer Bauelemente wie Endstufen-Transistoren und Spannungswandler sowie hochintegrierter Mikrorechnern und anderer Digitalschaltungen (ASICs) im Betrieb mit hohen Taktraten durch Umwälzung von Luft oder Wasser mittels Verdränger- oder Turbopumpen (Gebläsen) insbesondere im Fall hoher lokaler Verlustleistungsdichten und thermisch ungünstiger Betriebsumgebungen. Neben Wasser oder Luft werden zur Kühlung elektronischer Steuergeräte in Maschinenanlagen oder Motor- und Getriebebesteuern von Kraftfahrzeugen auch Kraftstoffe oder Öle als Wärmeaustauschmedien verwendet.

[0005] Die Kühlung elektronischer Motorsteuergeräte im Kraftfahrzeugbau etwa mittels Kraftstoff-Umwälzung stellt hohe, kostenträchtige Anforderungen an die Dauerhaltbarkeit und Dauerdichtheit der Rohrleitungen, Pumpen, Ventile und Wärmetauscher. Schon der Austritt kleiner Kraftstoffmengen aus dem Kühlkreislauf führt in der Regel zum Ausfall der Elektronik.

[0006] Bekannt ist weiterhin die passive Fluidumwälzung nach dem Prinzip der selbst aufrechterhaltenden Konvektion, insbesondere die im Bereich der Computerelektronik verbreitete "heat pipe". Sie ist ein hermetisch abgeschlossenes System zum Wärmetransfer mittels Verdampfungskühlung und selbst aufrechterhaltender Kühlmittelkonvektion. Die Siedetemperatur des verwendeten Fluids liegt im thermischen Betriebsbereich der zu kühlenden Wärmequelle. Die Flüssigphase benetzt die Innenwand eines dünnen Rohres, die Gasphase kann angetrieben vom Dampfdruck im Inneren des Rohres zur Wärmesenke strömen und die Verdampfungswärme dort durch Kondensation auf einen Wärmetauscher übertragen. Die Dicke der die Innenrohrwand benetzenden Flüssigkeitsschicht ist durch den Kapillareffekt begrenzt, der nur verhältnismäßig kleine Rohrdurchmesser zulässt und damit den Wärmestromquerschnitt der heat pipe einschränkt.

[0007] Weiterhin ist die elektrische Kühlung mittels Peltier-Elementen auf Grundlage des thermoelektrischen Peltier-Effekts bekannt. Solche Elemente bestehen aus zwei miteinander verbundenen Halbleitern, deren Leitungsbandunterkanten auf unterschiedlichen Energieniveaus liegen. Liegt über der Grenzschicht zwischen den Halbleitern eine elektrische Spannung an, sodass ein elektrischer Strom vom Halbleiter mit der energetisch höheren Leitungsbandkante (Wärmequelle) zum Halbleiter mit der energetisch niedrigeren Leitungsbandkante (Wärmesenke) fließt, kommt mit dem elektrischen Leitungsstrom auch ein Wärmestrom von der Wärmequelle zur -senke zustande. Die aus der Wärmequelle in die Wärmesenke übertretenden Elektronen übertragen durch Relaxation an die niedrigere Leitungsbandunterkante einen Teil ihrer in der Wärmequelle aufgenommenen thermischen Anregungsenergie auf das Kristallgitter der Wärmesenke.

[0008] Diesem thermoelektrisch induzierten Wärmestrom wirkt die Wärmediffusion entgegen, zudem erwärmen unvermeidliche ohmsche Verluste die halbleitenden Materialien. Der thermische Wirkungsgrad von Peltierelementen ist deshalb im Verhältnis zu anderen bekannten Kühlmechanismen gering. Zudem beanspruchen sie unter Umständen mehr Bauraum als die zu kühlenden elektronischen Bauelemente selbst. Peltierelemente sind zudem verhältnismäßig teuer und kommen deshalb für die breite Anwendung in der Regel nicht in Betracht.

[0009] Die Druckschrift US 4,396,055 A betrifft eine Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 10 zum Fördern eines dielektrischen Fluids in einem Wärmerohr entlang eines Strömungspfad.

Offenbarung der Erfindung

[0010] Erfindungsgemäß sind eine Vorrichtung nach Anspruch 10 und ein Verfahren nach Anspruch 1 zur Förderung mindestens eines Wärmeaustauschmediums vorgesehen, das mindestens ein erstes Fluid aufweist mit einer ersten Permittivität und ein mindestens zweites Fluid aufweist mit einer zweiten Permittivität, die von der Permittivität des ersten Fluids verschieden ist, wobei sich das erste Fluid in der Flüssigphase nicht mit dem zweiten Fluid in der Flüssigphase mischt, wodurch zwischen dem ersten und dem zweiten Fluid mindestens eine dielektrische Grenzfläche zustande

kommt. Die mindestens zwei Fluide verschiedener Permittivität bilden somit ein geschichtetes Dielektrikum und können aus homogenen Stoffen oder Stoffgemischen bestehen oder aus inhomogenen Gemischen wie Emulsionen oder Suspensionen zusammengesetzt sein.

[0011] Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst eine kapazitive Anordnung, die mindestens zwei benachbarte Elektroden aufweist, in deren Zwischenräume sich mindestens ein Strömungskanal erstreckt, in dem das mindestens eine Wärmeaustauschmedium fließt. Erfindungsgemäß ist jede Elektrode mit genau einer elektrischen Spannungsquelle einer Spannungssteuervorrichtung oder mit genau einer elektrischen Ladungsquelle einer Ladungssteuervorrichtung verbunden, wobei jede Elektrode unabhängig von den übrigen Elektroden geladen und entladen werden kann.

[0012] Weiterhin ist die Erregung mindestens eines elektrischen Felds mittels der erfindungsgemäßen Elektrodenanordnung im mindestens einen Strömungskanal vorgesehen, wobei das Feld insbesondere in den Umgebungen dielektrischer Grenzflächen der mindestens zwei Fluide unterschiedlicher Permittivität im Wärmeaustauschmedium erregt wird.

[0013] Das elektrische Feld ruft in den Umgebungen der dielektrischen Grenzflächen Vorschubkräfte hervor, die in Richtung zunehmender Kapazität der felderregenden Elektroden wirken. Die Fluidabschnitte höherer Permittivität streben in die felderfüllten Zwischenräume der Elektroden und verdrängen die Fluidabschnitte niedrigerer Permittivität, wodurch das Wärmeaustauschmedium aufgrund der Kohäsionskräfte in den Fluiden insgesamt in Richtung der Vorschubkräfte voranschreitet. Diese Wirkung stellt sich sowohl bei festgehaltener Spannung als auch festgehaltener Ladung der felderregenden Elektroden ein und ist unabhängig von der lokalen Orientierung des elektrischen Feldvektors, da sich die molekularen Dipolmomente dielektrischer Fluide und ferroelektrischer Kolloide abgesehen von thermischen Schwankungen vorzugsweise parallel zum lokalen elektrischen Feld ausrichten (Orientierungspolarisation).

[0014] Ferner ist nach einer Weiterbildung der Erfindung ein Verfahren zur Bestimmung der Kapazität felderregender Elektroden (Kapazitanzmatrix) und weiterhin zur Lagebestimmung dielektrischer Grenzflächen zwischen Fluiden unterschiedlicher Permittivität vorgesehen. An den Klemmen der Elektrodenanordnung ist eine kapazitive Messvorrichtung angeschlossen, etwa eine kapazitive Messbrücke. Die Bewegung einer dielektrischen Grenzfläche aufgrund des elektrischen Vorschubfeldes verändert die Kapazität derjenigen felderregenden Elektroden, in deren Einflussbereich die dielektrische Grenzfläche liegt. Mit der Spannungssteuervorrichtung werden die an den felderregenden Elektroden anliegenden Spannungen variiert. Ändert sich dadurch die Kapazität der Elektroden, dann befindet sich eine dielektrische Grenzfläche im Elektrodenzwischenraum. Ändert sich hingegen die Kapazität der Elektroden nicht, so ist der Strömungskanalabschnitt im Elektrodenzwischenraum homogen mit einem einzigen Fluid ausgefüllt. Auf diese Weise wird die Lage aller dielektrischen Grenzflächen erkannt. Die Kapazität (Kapazitanzmatrix) der felderregenden Elektroden mit homogenem sowie geschichtetem Dielektrikum kann empirisch oder mittels numerischer Methoden gefunden werden, im Fall einer einfachen oder symmetrischen Elektrodengeometrie wie im Fall eines Plattenkondensators oder kreiszylindrischen Kondensators auch analytisch bekannt sein.

[0015] Nach der Erfindung ist ferner vorgesehen, dass das Verfahren mittels fortschreitender, spannungs- oder ladungsgesteuerter Aufladung und Entladung der erfindungsgemäßen Elektrodenanordnung eine in Vorschubrichtung fortschreitende Erregung eines elektrischen Feldes im mindestens einen Strömungskanal des mindestens einen Wärmeaustauschmediums hervorruft, insbesondere in Bereichen dielektrischer Grenzflächen zwischen den mindestens zwei im Wärmeaustauschmedium enthaltenen Fluiden verschiedener Permittivität. In jedem der Vorschubschritte hält die Elektrodenanordnung eine den dielektrischen Grenzflächen in Vorschubrichtung vorausseilende elektrische Felderregung solange aufrecht, bis die Vorschubkräfte abgeklungen sind und die Kapazität der felderregenden Elektroden nicht mehr zunimmt. Erfindungsgemäß werden nun die Ladungen mit der Spannungs- oder Ladungssteuervorrichtung auf die in Vorschubrichtung benachbarten Elektroden übertragen, die parallelgeschaltet sein können, um ihre Kapazität zu erhöhen, und der nächste Vorschubschritt durchgeführt.

[0016] Erfindungsgemäß lädt das Vorschubverfahren mittels Spannungs- oder Ladungssteuervorrichtung fortschreitend nur solche Elektroden auf, in deren Zwischenräumen mit dem vorangehend beschriebenen Verfahren zur Kapazitätsbestimmung dielektrische Grenzflächen aufgefunden werden. Somit ist die elektrische Felderregung energetisch günstig auf die Umgebungen der Grenzflächen beschränkt, da nur dort Vorschubkräfte auf das Wärmeaustauschmedium wirken. Das elektrische Vorschubfeld wird lokal erregt und solange aufrechterhalten, bis die Kapazität der felderregenden Elektroden nicht mehr zunimmt und die beeinflusste dielektrische Grenzfläche nicht mehr fortschreitet, womit der Vorschubschritt endet.

[0017] Nach einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Vorschubschritte mit zeitweise festgehaltenen Spannungen an den Elektrodenklemmen oder zeitweise festgehaltenen Ladungen auf den Elektroden durchgeführt.

[0018] Nach einer Weiterbildung der Erfindung überlagert die Spannungs- oder Ladungssteuervorrichtung dem fortschreitend erregten elektrischen Vorschubfeld ein statisches elektrisches Feld, das dem Austritt der im Wärmeaustauschmedium enthaltenen dielektrischen Fluide aus der erfindungsgemäßen Vorrichtung entgegenwirkt, sofern die Permittivität des die erfindungsgemäße Vorrichtung umgebenden Mediums geringer ist als die Permittivität der Fluide im Wärmeaustauschmedium.

[0019] Nach einer Weiterbildung der Erfindung besteht mindestens eines der Fluide des Wärmeaustauschmediums aus einem homogenen ferroelektrischen Stoff, insbesondere einem ferroelektrischen Flüssigkristall, oder aus einer Suspension oder Emulsion, die ferroelektrische Kolloide enthält.

[0020] Nach einer Weiterbildung der Erfindung weist das Wärmeaustauschmedium mindestens einen ersten Fluidabschnitt auf, der aus der Flüssigphase eines dielektrischen Fluids besteht und mindestens einen weiteren Fluidabschnitt, der aus der Dampfphase dieses ersten Fluids besteht.

[0021] Nach einer Weiterbildung der Erfindung liegt die Siedetemperatur mindestens eines der im Wärmeaustauschmedium enthaltenen Fluide im thermischen Betriebsbereich der mindestens einen zu kühlenden Wärmequelle oder der mindestens einen zu erwärmenden Wärmesenke.

[0022] Nach einer Weiterbildung der Erfindung ist ein Verfahren zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit mindestens einer dielektrischen Grenzfläche zwischen Fluidabschnitten unterschiedlicher Permittivität vorgesehen, wobei die zeitliche Veränderung der Kapazität felderregender Elektroden, in deren Zwischenraum sich eine mit dem Wärmeaustauschmedium fließende dielektrische Grenzfläche befindet, bestimmt wird.

[0023] Nach einer Weiterbildung der Erfindung ist, ausgehend vom Verfahren zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit, ein Verfahren vorgesehen, das mittels zeitlicher Korrelation der Kapazitätsvariation verschiedener Elektroden, in deren Zwischenräume dielektrische Grenzflächen zwischen Fluidabschnitten verschiedener Permittivität eingedungen sind, die Länge homogener Fluidabschnitte bestimmt.

[0024] Nach einer Weiterbildung der Erfindung ist ausgehend vom Verfahren zur Bestimmung der Elektrodenkapazität und Lagebestimmung dielektrischer Grenzflächen zwischen Fluidabschnitten unterschiedlicher Permittivität ein Verfahren zur Bestimmung der Fluidichte und Fluidtemperatur vorgesehen. Hierin werden nach dem vorhergehend beschriebenen Verfahren diejenigen felderregenden Elektroden aufgefunden, deren Zwischenraum ein homogener Fluidabschnitt des Wärmeaustauschmediums ausfüllt. Die gemessene Kapazität hängt bei homogener dielektrischer Füllung nur von der temperaturabhängigen dielektrischen Orientierungspolarisation des Fluids ab. Der Zusammenhang zwischen Temperatur und Polarisation in Fluiden mit permanentem, molekularem Dipolmoment, wie zum Beispiel Wasser, ist durch die Debye-Gleichung, für solche mit induziertem Dipolmoment durch die Clausius-Mossotti-Gleichung bekannt. Erfindungsgemäß ist der funktionale Zusammenhang zwischen der gemessenen Kapazität der Elektroden sowie der dielektrischen Polarisation und Temperatur des dielektrischen Fluids als numerischer Algorithmus im Programm eines Mikrorechners dargestellt.

[0025] Erfindungsgemäß bestimmt der numerische Algorithmus im Programmablauf dieses Rechners aus der gemessenen Kapazität sowie der Temperatur des von den Elektroden eingeschlossenen homogenen Fluidabschnitts zusammen mit der erfindungsgemäß bestimmten Fließgeschwindigkeit und der bekannten spezifischen Wärmekapazität des Fluids den Wärmestrom durch die felderregende Elektrodenanordnung.

[0026] Die Ausführungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung eignen sich insbesondere zum elektrostatischen Konvektionsantrieb dielektrischer sowie ferroelektrischer Fluide und kommen vorteilhaft zur Anwendung in Konvektionskreisen zur Kühlung oder Erwärmung elektrischer, elektronischer oder mikromechanischer Baugruppen in Motor- und Getriebe-Steuergeräten von Kraftfahrzeugen sowie Maschinenanlagen, die hohen Anforderungen hinsichtlich Robustheit, Wartungsfreiheit und Dauerhaftigkeit genügen müssen.

[0027] Weiterhin eignen sich die Ausführungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Anwendung in mobilen, elektronischen Endgeräten wie Laptops, PDAs, etc., deren Akkumulatoren über geringe Ladungskapazität verfügen und eine leistungszehrende, elektrisch angetriebene Kühlmittelkonvektion mittels Pumpen oder Gebläsen nicht zulassen. Ferner eignet sich die Erfindung als Zusatzantrieb zur Umwälzung der Flüssigphase des Wärmeaustauschmediums in einem Wärmeleitrohr (heat pipe) mit selbst aufrechterhaltender Konvektion.

[0028] Die Elektroden und Strömungskanäle der erfindungsgemäßen Vorrichtung eignen sich in miniaturisierter Form zur Einbettung in mehrlagige elektronische Leiterplatten oder Keramiksubstrate; die Elektroden können mit den elektronischen Baugruppen zusammengeschaltet und in den zu kühlenden oder erwärmenden mikroelektronischen oder -mechanischen Baugruppen als Kondensatoren variabler Kapazität verwendet werden.

[0029] Ausführungen der Erfindungen mit einteiliger Außenelektrode, die als geschlossene Außenwandung des Strömungskanals ausgebildet ist, sind elektromagnetisch vollständig geschirmt. Die Signalintegrität elektronischer Bauelemente und Leitbahnen ist nicht beeinträchtigt, es tritt keinerlei elektromagnetische Störaussendung an den Elektroden während der transienten Erregung des elektrischen Vorschubfelds auf.

Kurzbeschreibung der Abbildungen

[0030] Die Abbildungen 1 bis 23 veranschaulichen vorteilhafte Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Vorrichtung im Längsschnitt entlang der Vorschubrichtung, die Abbildungen 24 und 25 im Querschnitt, und zwar zeigen:

Abbildung 1 Schnittansicht einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

EP 2 297 540 B1

Abbildung 2	erste Ausführungsform, der eine elektrische Spannungs- oder Ladungssteuervorrichtung zugeordnet ist,
5 Abbildung 3	erste Ausführungsform in einem ersten Vorschubschritt einer ersten Durchführungsart des Verfahrens bei festgehaltener Elektrodenspannung,
Abbildung 4	erste Ausführungsform in einem zweiten Vorschubschritt einer ersten Durchführungsart des Verfahrens bei festgehaltener Elektrodenspannung,
10 Abbildung 5	erste Ausführungsform in einem dritten Vorschubschritt einer ersten Durchführungsart des Verfahrens bei festgehaltener Elektrodenspannung,
Abbildung 6	erste Ausführungsform in einem ersten Vorschubschritt einer ersten Durchführungsart des Verfahrens bei festgehaltener Elektrodenladung,
15 Abbildung 7	erste Ausführungsform in einem zweiten Vorschubschritt einer ersten Durchführungsart des Verfahrens bei festgehaltener Elektrodenladung,
Abbildung 8	erste Ausführungsform in einem dritten Vorschubschritt einer ersten Durchführungsart des Verfahrens bei festgehaltener Elektrodenladung,
20 Abbildung 9	zweite Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einteiliger Innenelektrode,
Abbildung 10	dritte Ausführungsform mit einer eingebetteten ersten Ausführungsform und zwei getrennten Strömungskanälen,
25 Abbildung 11	vierte Ausführungsform in Verbindung mit einem Wärmeleitrohr (heat pipe),
Abbildung 12	fünfte Ausführungsform in Verbindung mit elektrischen Spannungs- oder Ladungsquellen,
30 Abbildung 13	sechste Ausführungsform in Verbindung mit elektrischen Spannungs- oder Ladungsquellen,
Abbildung 14	siebte Ausführungsform ohne Innenelektroden in Verbindung mit elektrischen Spannungs- oder Ladungsquellen,
35 Abbildung 15	achte Ausführungsform ohne Innenelektroden mit versetzten Außenelektroden in Verbindung mit elektrischen Spannungs- oder Ladungsquellen,
Abbildung 16	achte Ausführungsform in einem ersten Vorschubschritt und Zustand der elektrischen Felderregung einer zweiten Durchführungsart des Verfahrens,
40 Abbildung 17	achte Ausführungsform in einem zweiten Vorschubschritt und Zustand der elektrischen Felderregung einer zweiten Durchführungsart des Verfahrens,
Abbildung 18	achte Ausführungsform in einem dritten Vorschubschritt und Zustand der elektrischen Felderregung einer zweiten Durchführungsart des Verfahrens,
45 Abbildung 19	achte Ausführungsform in einem vierten Vorschubschritt und Zustand der elektrischen Felderregung einer zweiten Durchführungsart des Verfahrens,
50 Abbildung 20	achte Ausführungsform in einem ersten Vorschubschritt und Zustand der elektrischen Felderregung einer dritten Durchführungsart des Verfahrens,
Abbildung 21	achte Ausführungsform in einem zweiten Vorschubschritt und Zustand der elektrischen Felderregung einer dritten Durchführungsart des Verfahrens,
55 Abbildung 22	achte Ausführungsform in einem dritten Vorschubschritt und Zustand der elektrischen Felderregung einer dritten Durchführungsart des Verfahrens,

Abbildung 23 achte Ausführungsform in einem vierten Vorschubschritt und Zustand der elektrischen Felderregung einer dritten Durchführungsart des Verfahrens,

Abbildung 24 Querschnitt einer neunten Ausführungsform mit ineinandergreifenden, geschichteten Plattenelektroden und zugeordneter elektrischer Spannungsquelle und

Abbildung 25 Querschnitt einer zehnten Ausführungsform mit radial geschichteten oder gewickelten kreiszylindrischen Elektroden und zugeordneter elektrischer Spannungsquelle.

Ausführungsformen der Erfindung

[0031] Die Abbildungen 1 bis 23 geben jeweils Ausschnitte von Ausführungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung im Längsschnitt entlang der Vorschubrichtung des Wärmeaustauschmediums wieder.

[0032] Abbildung 1 zeigt eine erste Ausführung 1 der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Förderung eines Wärmeaustauschmediums 2, das einen ersten dielektrischen Fluidabschnitt 3' mit einer ersten Permittivität ε_1 , einen zweiten dielektrischen Fluidabschnitt 4' mit einer zweiten Permittivität ε_2 und einen dritten dielektrischen Fluidabschnitt 5' mit einer dritten Permittivität ε_3 aufweist, wobei die zweite Permittivität ε_2 von der dritten und ersten Permittivität ε_3 , ε_1 verschieden ist. Die nichtmischenden Fluide 3, 4 und 5 bilden dielektrische Grenzflächen 16 und damit ein in Fließrichtung des Wärmeaustauschmediums 2 geschichtetes Dielektrikum. Weiterhin ist eine einteilige, geschlossene Außenelektrode 12 vorgesehen, die als Außenwandung 12' eines Strömungskanals 6 ausgebildet ist und einzelne, voneinander getrennte Innenelektroden 7, 8, 9 und 10 umschließt, die entlang der Vorschubrichtung angeordnet sind und eine mehrteilig ausgeführte Innenelektrode 11 bilden. Die Außenelektrode 12 und die Innenelektrode 11 sind galvanisch voneinander getrennt. Die Außenelektrode 12 und die Innenelektroden 7, 8, 9, 10 einer Elektrodenanordnung 14 weisen Zwischenräume auf, die den Strömungskanal 6 bilden, in dem das Wärmeaustauschmedium 2 fließt.

[0033] Nach einer Weiterbildung der ersten Ausführung 1 sind eine erste plattenförmige Außenelektrode 12 sowie eine zweite plattenförmige, von der Außenelektrode 12 getrennte Außenelektrode 13 vorgesehen. Weiterhin sind die Innenelektroden 7, 8, 9, 10 plattenförmig und von den Außenelektroden 12 und 13 getrennt ausgebildet. Die Außenelektroden 12 und 13 sind als Außenwandungen 12', 13' des Strömungskanals 6, der das Wärmeaustauschmedium 2 aufnimmt, ausgeführt. Die weiteren Außenwandungen des Strömungskanals 6 parallel zur Papierebene sind in der Schnittansicht nach Abbildung 1 nicht dargestellt.

[0034] Abbildung 2 zeigt die erste Ausführung 1, wobei ihr eine elektronische Spannungssteuervorrichtung 17 zugeordnet ist, die über unabhängig gesteuerte elektrische Spannungsquellen U_0 , U_1 , U_2 , U_3 und U_4 verfügt. Jede dieser Spannungsquellen U_0 , U_1 , U_2 , U_3 und U_4 ist über eine Einzelleitung 21 mit genau einer der Innenelektroden 7, 8, 9, 10 elektrisch verbunden. Die Elektroden 7, 8, 9, 10 können unabhängig voneinander aufgeladen und entladen werden. Die Außenelektroden 12 und 13 sind elektrisch mit einem Massepotential 18 verbunden.

[0035] Nach einer Weiterbildung der ersten Ausführung 1 ist jede der Innenelektroden 7, 8, 9, 10 über getrennte Einzelleitungen 21 mit genau einer der Ladungsquellen einer elektronischen Ladungssteuervorrichtung 20 verbunden.

[0036] Die Elektrodenanordnung 14 kann mittels der Spannungssteuervorrichtung 17 oder der Ladungssteuervorrichtung 20 zu einem kapazitiven Netzwerk variabler Kapazität (Kapazitanzmatrix) zusammengeschaltet werden.

[0037] Die Abbildungen 3 bis 8 zeigen aufeinanderfolgende Vorschubschritte 24, 25, 26 einer ersten Durchführungsart des erfindungsgemäßen Verfahrens in der ersten Ausführung 1 der Vorrichtung unter fortschreitender lokaler Erregung eines elektrischen Vorschubfeldes 19 mittels spannungs- oder ladungsgesteuerter Aufladung und Entladung der felderregenden Elektrodenanordnung 14. In jedem der Vorschubschritte 24, 25 und 26 bleibt die lokale elektrische Felderregung 19 bei festgehaltenen Elektrodenspannungen oder Elektrodenladungen solange bestehen, bis eine Vorschubkraft 27' auf die Grenzfläche 16 abgeklungen ist. Im Bereich der dielektrischen Grenzfläche 16 zwischen Fluid 4 mit der Permittivität ε_2 und Fluid 3 mit der Permittivität ε_1 erregt die Elektrodenanordnung 14 ein lokales elektrisches Feld 19', das der Grenzfläche 16 in Vorschubrichtung 27 vorseilt und die auf die Grenzfläche 16 einwirkende Vorschubkraft 27' hervorruft. Der Fluidabschnitt 4' mit der höheren Permittivität $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$ strebt in den felderfüllten Zwischenraum der Elektrodenanordnung 14 und verdrängt Fluid 3 mit der niedrigeren Permittivität ε_1 , wodurch aufgrund der Kohäsionskräfte in den Fluiden 3, 4 das Wärmeaustauschmedium 2 insgesamt durch den Strömungskanal 6 in Richtung der Vorschubkraft 27' weiterfließt. Sobald die Vorschubkraft 27' zum Erliegen kommt, ist der Vorschubschritt 24, 25, 26 beendet; der nächste Schritt wird eingeleitet, indem die Felderregung mittels der Spannungssteuervorrichtung 17 oder der Ladungssteuervorrichtung 20 auf in Vorschubrichtung 27 benachbarte Elektroden der Anordnung 14 übergeht.

[0038] Die Abbildungen 3 bis 5 zeigen den Vorschub des Wärmeaustauschmediums 2 in der ersten Ausführung 1 bei zeitweise festgehaltenen, mit der Spannungssteuervorrichtung 17 geschalteten Elektrodenspannungen.

[0039] Im Förderschritt 24 nach Abbildung 3 erregen die Innenelektrode 8 und Außenelektrode 12 in ihrem Zwischenraum ein lokales elektrisches Feld 19', indem die Spannungssteuervorrichtung 17 zwischen Innenelektrode 8 und Außenelektrode 12 eine Spannung U_c anlegt. Das Vorschubfeld 19 zieht die dielektrische Grenzfläche 16 in den Zwischen-

raum der Innenelektrode 8 und Außenelektrode 12.

[0040] Sobald der Fluidabschnitt 4' mit der höheren Permittivität ε_2 den Zwischenraum der Innenelektrode 8 und Außenelektrode 12 ausfüllt und die erfindungsgemäß bestimmte Elektrodenkapazität nicht mehr zunimmt, legt die Spannungssteuervorrichtung 17 im Förderschritt 25 nach Abbildung 4 zusätzlich zur Spannung $U_A = U_C$ zwischen den Elektroden 8 und 12 eine Spannung $U_B = -U_C$ zwischen der Innenelektrode 9 und Außenelektrode 12. Damit entsteht zwischen den Innenelektroden 8 und 9 die Potentialdifferenz $2 \cdot U_C$, das elektrische Feld 19' zieht die dielektrische Grenzfläche 16 in den Zwischenraum der Innenelektroden 8 und 9.

[0041] Sobald die Vorschubkraft 27' auf den Bereich der dielektrischen Grenzfläche 16 abklingt und die erfindungsgemäß bestimmte Kapazität des Elektrodenpaares 8 und 9 nicht mehr zunimmt, senkt die Spannungssteuervorrichtung 17 im Förderschritt 26 nach Abbildung 5 die zwischen den Elektroden 8 und 12 liegende Spannung auf null, das elektrische Vorschubfeld 19' ist auf den Zwischenraum der Innenelektrode 9 und Außenelektrode 12 beschränkt, wo es eine Vorschubkraft 27' auf das Wärmeaustauschmedium 2 in der Umgebung der fortgeschrittenen dielektrischen Grenzfläche 16 ausübt.

[0042] In Abhängigkeit von der anliegenden Spannung U und der Kapazität C beträgt die elektrostatische Energie in der felderregenden Elektrodenanordnung 14.

$$W_e = \frac{1}{2} C U^2$$

[0043] Dringt ein Fluidabschnitt höherer Permittivität $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$ die Wegstrecke s in den Zwischenraum der felderregenden Elektroden ein, so nimmt die Kapazität $C(s)$ zu, der Kapazitätsbelag

$$k(s) := dC/ds$$

ist größer null. Mit der Kapazitätsvariation $\delta C = k \delta s$ entlang der infinitesimalen Wegstrecke δs ändert sich W_e gemäß

$$\delta W_e = \frac{1}{2} U^2 \delta C = \frac{1}{2} U^2 k \delta s$$

[0044] Unter konstanter Spannung U fließt die Ladungsmenge $\delta Q = U \delta C$ bzw. $-\delta Q$ auf die Elektroden, der Spannungsquelle wird die Energie

$$\delta W_q = U \delta Q = U^2 \delta C = 2 \delta W_e$$

entnommen. Ist F_D die auf die dielektrische Grenzfläche 16 wirkende Kraft 27 und $\delta W_m = F_D \delta s$ die verrichtete mechanische Arbeit, so lautet die Energiebilanz $W_q = W_e + W_m$ und daraus folgt:

$$\delta W_q = \delta W_e + \delta W_m$$

$$\delta W_m = \delta W_e = \frac{1}{2} U^2 k \delta s \Rightarrow$$

$$F_D = \frac{1}{2} U^2 k$$

[0045] Ist die Elektrodenanordnung abschnittsweise zylindrisch, Querschnitt und Kapazitätsbelag in diesem Abschnitt entlang der Strömungsrichtung also gleichbleibend, so sind der Kapazitätsbelag k und damit die Kraft F_D von der Lage der dielektrischen Grenzfläche 16 unabhängig.

[0046] Die Abbildungen 6 bis 8 zeigen Vorschubschritte des Wärmeaustauschmediums 2 unter fortschreitender elektrischer Felderregung 19" in der ersten Ausführung 1 bei zeitweise festgehaltenen Elektrodenladungen, die mit der Ladungssteuervorrichtung 20 aufgebracht und entfernt werden.

[0047] Im Förderschritt 24 nach Abbildung 6 bringt die Ladungssteuervorrichtung 20 aus einer Ladungsquelle die Ladung Q_c auf die Innenelektrode 8, die Außenelektrode 12 liegt auf Massepotential 18. Die Elektroden 8 und 12 erregen ein lokales elektrisches Feld 19' in ihrem Zwischenraum, in den die Grenzfläche 16 hineindrängt. Sobald der Fluidabschnitt 4' mit der höheren Permittivität ε_2 den Zwischenraum der Innenelektrode 8 und Außenelektrode 12 ausfüllt

und die erfindungsgemäß bestimmte Elektrodenkapazität nicht mehr zunimmt, trägt die Ladungssteuervorrichtung 20 im Förderschritt 25 nach Abbildung 7 auf der Innenelektrode 9 die Ladung $-Q_c$ auf. Damit entsteht auf den Innenelektroden 8 und 9 die Ladungsdifferenz $2 \cdot Q_c$ und das elektrische Feld $19'$ zieht die dielektrische Grenzfläche 16 in den Zwischenraum der Elektroden 8 und 9.

[0048] Sobald die Vorschubkraft $27'$ auf die Umgebung der dielektrischen Grenzfläche 16 abklingt und die erfindungsgemäß bestimmte Kapazität des Elektrodenpaares 8 und 9 nicht mehr zunimmt, führt die Ladungssteuervorrichtung 20 im Förderschritt 26 nach Abbildung 8 die Ladung Q_c von der Innenelektrode 8 ab. Das elektrische Vorschubfeld 19 ist somit auf den Zwischenraum der Innenelektrode 9 und Außenelektrode 12 beschränkt, wo es eine Vorschubkraft $27'$ auf das Wärmeaustauschmedium 2 im Bereich der fortgeschrittenen dielektrischen Grenzfläche 16 ausübt.

[0049] In Abhängigkeit von der Ladung Q beträgt die elektrostatische Energie der felderregenden Elektrodenanordnung 14

$$W_e = \frac{1}{2} Q^2 / C$$

[0050] Die Kapazitätsvariation $\delta C = k \delta s$ bei festgehaltener Elektrodenladung Q ändert W_e gemäß

$$\delta W_e = -\frac{1}{2} (Q^2 / C^2) k \delta s$$

[0051] Der Spannungsquelle wird bei offenen Elektrodenklemmen keine Energie entnommen:

$$\delta W_q = U \delta Q = 0$$

[0052] Somit bleibt die Energie $W_e + W_m$ der Elektrodenanordnung 14 mitsamt Dielektrikum erhalten:

$$\delta W_e + \delta W_m = 0 \Leftrightarrow \delta W_m = -\delta W_e = \frac{1}{2} (Q^2 / C^2) k \delta s$$

[0053] Auf die dielektrische Grenzfläche 16 wirkt die Kraft

$$F_D = \frac{1}{2} (Q^2 / C^2) k$$

[0054] Ist die Elektrodenanordnung 14 entlang eines Abschnitts der Länge H zylindrisch und $h < H$ die Eindringtiefe der dielektrischen Grenzfläche 16, so entsteht ein zylindrischer Kondensator mit in Längsrichtung geschichtetem Dielektrikum und der Kapazität

$$C(h) = k_0 [\epsilon_2 h + (H - h) \epsilon_1] = k_0 [(\epsilon_2 - \epsilon_1)h + H \epsilon_1]$$

worin k_0 der konstante Kapazitätsbelag des Kondensators ohne Dielektrikum ist. Der Kapazitätsbelag des axial geschichteten Zylinderkondensators ist somit unter Vernachlässigung von Rand- und Streufeldern

$$k = dC/dh = k_0 (\epsilon_2 - \epsilon_1)$$

[0055] Die Kraft $F_D = \frac{1}{2} U^2 k_0 (\epsilon_2 - \epsilon_1)$ beziehungsweise $F_D = \frac{1}{2} (Q/C)^2 k_0 (\epsilon_2 - \epsilon_1)$ auf die dielektrische Grenzfläche 16 ist bei festgehaltener Spannung im homogenen Feld unabhängig von der Eindringtiefe $h < H$. Bei festgehaltener Ladung Q nimmt die Kraft F_D mit zunehmender Eindringtiefe h und Kapazität $C(h)$ ab. Für Plattenelektroden der Breite b im Abstand d ist

$$k_0 = \epsilon_0 b/d \quad (\text{Dielektrizitätskonstante } \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m})$$

und für die kreiszylindrische Innen- und Außenelektrode mit Radien r_A (Innenradius der Außenelektrode) und r_B (Au-

ßenradius Innenelektrode)

$$k_0 = 2\pi \varepsilon_0 / \ln (r_A / r_B) .$$

5

[0056] Abbildung 9 zeigt eine zweite Ausführung 31 der erfindungsgemäßen Vorrichtung, die eine einteilige, in Strömungsrichtung 30 des Wärmeaustauschmediums 2 durchgehende Innenelektrode 11 und eine einteilige, geschlossene Außenwandung 40, die aus einem elektrisch isolierendem Material besteht, aufweist. Entlang der Strömungsrichtung 30 sind vereinzelte, elektrisch voneinander getrennte Außenelektroden 32 angeordnet, die in die Außenwandung 40 eingebettet oder darauf angebracht sind. Die Außenelektroden 32 und die Innenelektrode 11 sind elektrisch voneinander getrennt. Der Raum zwischen der Innenelektrode 11 und der von der Außenwandung 40 und den Außenelektroden 32 gebildeten Strömungswandung 40' bildet den Strömungskanal 6 des Wärmeaustauschmediums 2.

10

[0057] Nach einer Weiterbildung der zweiten Ausführung 31 sind die Außenwandungen 40 und eine Außenwandung 41 plattenförmig aus elektrisch isolierendem Material ausgeführt, die Innenelektrode 11 und Außenelektroden 32 sind ebenso von plattenförmiger Gestalt. Die weiteren seitlichen Außenwandungen des Strömungskanals 6 sind in Abbildung 9 nicht wiedergegeben. Technisch vorteilhaft können die Außenwandungen 40 und 41, die Innenelektrode 11 sowie die Außenelektroden 32 von kreisförmigem oder rechteckigem Querschnitt sein.

15

[0058] Abbildung 10 gibt eine dritte Ausführung 33 der erfindungsgemäßen Vorrichtung wieder, die aus der zweiten Ausführung 31 dadurch hervorgeht, dass die erste Ausführung 1 die Innenelektrode 11 der zweiten Ausführung 31 ersetzt. Die durchgehenden, geschlossenen Außenelektroden 12 und 13 der eingebetteten ersten Ausführung 1 wirken in der Ausführung 33 als Innenelektroden gegenüber den vereinzelten, getrennten Außenelektroden 32. Zusätzlich zum inneren Strömungskanal 6 der eingebetteten ersten Ausführung 1, in dem die Fluidabschnitte 4' und 5' fließen, kommt im Raum zwischen den geschlossenen Außenelektroden 12 und 13 einerseits und den Außenwandungen 40 und 41 andererseits ein äußerer Strömungskanal 60 zustande, in dem ein weiteres, die Fluidabschnitte 37' und 38' aufweisendes Wärmeaustauschmedium 66 unabhängig und getrennt vom ersten Wärmeaustauschmedium 2 vorangetrieben wird. Erfindungsgemäß wird im inneren Strömungskanal 6 ein erstes elektrisches Vorschubfeld 19 und im äußeren Strömungskanal 60 ein zweites, vom ersten Feld 19 unabhängiges elektrisches Vorschubfeld 19 erregt.

20

[0059] Abbildung 11 zeigt eine vierte Ausführung 35 der erfindungsgemäßen Vorrichtung, die aus der dritten Ausführung 33 dadurch hervorgeht, dass die Innenelektroden 7, 8, 9 und 10 der eingebetteten ersten Ausführung 1 entfallen. Im Innenraum der einteiligen, geschlossenen Elektrode 12 oder im Zwischenraum der getrennten, plattenförmigen Elektroden 12 und 13 strömt eine Gasphase 36 (Dampfphase) des Wärmeaustauschmediums 66 eines Wärmeleitrohrs 34 (heat pipe). Nichtmischende Flüssigphasen 37 und 38 des Wärmeaustauschmediums 66 fließen wie in der dritten Ausführung 33 durch den äußeren Strömungskanal 60 entgegengesetzt zur Strömungsrichtung 30 der Gasphase 36.

30

[0060] Abbildung 12 zeigt eine fünfte Ausführung 39 der erfindungsgemäßen Vorrichtung, worin die Innenelektrode 11 wie in der ersten Ausführung 1 und die Außenelektroden 32 sowie die Außenwandungen 40 und 41 wie in der zweiten Ausführung 31 mehrteilig und voneinander getrennt ausgeführt sind. Die Elektroden 11 und 32 sind an ihren Enden in Strömungsrichtung 30 bündig ausgerichtet und können abschnittsweise als geschlossenes Rohr oder plattenförmig ausgeführt sein. Weiterhin ist jede der Elektroden 11 und 32 elektrisch mit genau einer unabhängig steuerbaren Spannungsquelle $U_{A1} - U_{A4}, U_{B1} - U_{B4}, U_{E1} - U_{E4}$ der Spannungssteuervorrichtung 17 oder genau einer unabhängig steuerbaren Ladungsquelle der Ladungssteuervorrichtung 20 verbunden.

35

[0061] Abbildung 13 zeigt eine sechste Ausführung 43 der erfindungsgemäßen Vorrichtung, die aus der fünften Ausführung 39 dadurch hervorgeht, dass die Enden der Außenelektroden 32 und Innenelektroden 11 in Strömungsrichtung 30 versetzt angeordnet sind.

40

[0062] Abbildung 14 zeigt eine siebte Ausführung 44 der erfindungsgemäßen Vorrichtung, die aus der sechsten Ausführung 43 dadurch hervorgeht, dass die Innenelektroden 11 mitsamt der angeschlossenen Spannungssteuervorrichtung 17 oder Ladungssteuervorrichtung 20 entfallen.

45

[0063] Abbildung 15 zeigt eine achte Ausführung 47 der erfindungsgemäßen Vorrichtung, die aus der siebten Ausführung 44 dadurch hervorgeht, dass die Enden der in die Außenwandung 40 eingebetteten Außenelektroden 32 gegenüber den Enden der in die gegenüberliegende Außenwandung 41 eingebetteten Außenelektroden 32 in Strömungsrichtung 30 gegeneinander versetzt angeordnet sind.

50

[0064] Die Abbildungen 16 bis 19 zeigen eine zweite Durchführungsart des erfindungsgemäßen Verfahrens in der achten Ausführung 44 der Vorrichtung mit einer elektrodenübergreifenden und in Vorschubrichtung 27 fortschreitenden Felderregung 19" durch jeweils drei Elektroden 32. Die elektrischen Feldlinien verformen die dielektrische Grenzschicht 16 schräg zur Vorschubrichtung 27. Die Darstellung gibt die Feldlinien nur qualitativ richtig wieder, Oberflächenspannungen und Kapillarkräfte sind außer Acht gelassen.

55

[0065] Die Abbildungen 20 bis 23 zeigen eine dritte Durchführungsart des erfindungsgemäßen Verfahrens in der achten Ausführung 44 der Vorrichtung mit fortschreitender Felderregung 19" mittels je eines Paares quer zur Vorschub-

richtung 27 gegenüberliegender, versetzt angeordneter Elektroden 32. Die elektrischen Feldlinien verziehen die dielektrische Grenzfläche 16 qualitativ ähnlich wie in den Abbildungen 16 bis 19 wiedergegeben.

[0066] Die Abbildungen 24 und 25 stellen eine neunte Ausführung 47 und zehnte Ausführung 48 der erfindungsgemäßen Vorrichtung jeweils im Querschnitt dar, die Papierebene der Darstellung liegt orthogonal zur Strömungsrichtung 30 beziehungsweise Vorschubrichtung 27. Wie bei herkömmlichen Schicht- oder Wickelkondensatoren wird ein hoher Kapazitätsbelag und damit eine hohe Vorschubkraft 27' dadurch erreicht, dass die dünnen Innenelektroden 49 geschichtet oder gewickelt angeordnet sind. Anstelle einer elektrolytischen Trägerfolie, wie sie in Elektrolytkondensatoren verwendet wird oder eines Kunststoff-Dielektrikums, das in Folienkondensatoren vorkommt, ist eine in Vorschubrichtung 27 durchlässige Stützfolie 50 vorgesehen.

[0067] Abbildung 24 zeigt eine Schichtanordnung plattenförmiger, einzelner Elektroden 49, die von einer geschlossenen, elektrisch leitfähigen Strömungswandung 12 von rechteckigem Querschnitt, die auf Massepotential 18 liegt, umschlossen werden. Die Elektroden 49 und die Strömungswandung 12 sind voneinander getrennt angeordnet. Weiterhin ist die elektrische Verbindung der Innenelektroden 49 mit einer elektrischen Spannungsquelle der Spannungssteuervorrichtung 17 oder einer Ladungsquelle der Ladungssteuervorrichtung 20 vorgesehen.

[0068] Abbildung 25 zeigt eine radiale Schichtanordnung kreisringförmiger, einzelner Elektroden 49, die von einer geschlossenen, elektrisch leitfähigen Strömungswandung 12 von rechteckigem Querschnitt, die auf Massepotential 18 liegt, umschlossen werden. Die Elektroden 49 und die Strömungswandung 12 sind voneinander getrennt angeordnet. Weiterhin ist die elektrische Verbindung der Innenelektroden 49 mit einer elektrischen Spannungsquelle der Spannungssteuervorrichtung 17 oder einer Ladungsquelle der Ladungssteuervorrichtung 20 vorgesehen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Förderung mindestens eines Wärmeaustauschmediums (2,66), das mindestens ein eine erste Permittivität aufweisendes erstes Fluid (3,4,5) und mindestens ein sich mit dem ersten Fluid (3,4,5) nicht mischendes zweites Fluid (3,4,5) aufweist, das eine zweite Permittivität aufweist, die von der ersten Permittivität abweicht, wobei zwischen dem ersten und zweiten Fluid (3,4,5) mindestens eine dielektrische Grenzfläche (16) ausgebildet ist, die einem fortschreitend erregten, elektrischen Vorschubfeld (19) ausgesetzt ist, das eine Vorschubkraft (27') auf die mindestens eine dielektrische Grenzfläche (16) ausübt, und wobei das elektrische Vorschubfeld (19) von einer Elektrodenanordnung (14), die aus mindestens zwei, insbesondere in Vorschubrichtung (27), benachbarten Elektroden (7,8,9,10,11,12,13,32,49) besteht, fortschreitend erregt wird, wobei jeder Elektrode (7,8,9,10,11,12,13,32,49) der Elektrodenanordnung (14) eine Spannungssteuervorrichtung (17) mit unabhängig gesteuerten Spannungsquellen oder eine Ladungssteuervorrichtung (20) mit unabhängig gesteuerten Ladungsquellen zugeordnet ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** als erstes Fluid (3,4,5) eine erste Flüssigkeit verwendet wird und als zweites Fluid (3,4,5) eine zweite Flüssigkeit, deren Permittivität von der Permittivität der ersten Flüssigkeit abweicht, verwendet wird.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** als erstes Fluid (3,4,5) eine Flüssigkeit verwendet wird und als zweites Fluid (3,4,5) ein Gas verwendet wird, insbesondere dass das Gas die Gasphase (36) des ersten Fluids (3,4,5) ist.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorschubkräfte (27') auf das zu fördernde Wärmeaustauschmedium (2,66) mit einem elektrischen Feld (19') erzeugt werden, das insbesondere in Bereichen dielektrischer Grenzflächen (16) zwischen Fluiden (3,4,5) unterschiedlicher Permittivität mit einer Elektrodenanordnung (14) erregt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Wärmeaustauschmedium (2,66) mittels eines statischen elektrischen Feldes, das dem fortschreitend erregten elektrischen Vorschubfeld (19) überlagert ist, zusammengehalten oder zusammengedrängt wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das elektrische Vorschubfeld (19) durch Verlagerung der elektrischen Ladung auf weitere Elektroden (7,8,9,10,11,12,13,32,49) der Elektrodenanordnung (14) in Vorschubrichtung (27) fortschreitend erregt wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mittels Messung der Kapazität der felderregenden Elektrodenanordnung (14) die Lage mindestens einer dielektrischen Grenzfläche (16) im Wärmeaustauschmedium (2,66) ermittelt wird und aus der zeitlichen Veränderung der Lage mindestens einer

dielektrischen Grenzfläche (16) die Fließgeschwindigkeit mindestens eines Fluidabschnitts (3',4',5') bestimmt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Temperatur mindestens eines der in dem Wärmeaustauschmedium (2,66) enthaltenen Fluidabschnitte (3',4',5') anhand der gemessenen Kapazität und mindestens eines weiteren Parameters, insbesondere der Temperaturabhängigkeit der Permittivität des Fluids (3,4,5), ermittelt wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** anhand der Temperatur, der Fließgeschwindigkeit und der spezifischen Wärmekapazität mindestens eines im Wärmeaustauschmedium (2,66) enthaltenen Fluidabschnitts (3',4',5') ein Wärmestrom ermittelt wird.
10. Vorrichtung zur Förderung mindestens eines Wärmeaustauschmediums (2,66), das mindestens ein eine erste Permittivität aufweisendes erstes Fluid (3,4,5) und mindestens ein sich mit dem ersten Fluid (3,4,5) nicht mischendes zweites Fluid (3,4,5) aufweist, das eine zweite Permittivität aufweist, die von der ersten Permittivität abweicht, wobei zwischen dem ersten und zweiten Fluid (3,4,5) mindestens eine dielektrische Grenzfläche (16) ausgebildet ist, **gekennzeichnet durch** eine kapazitive Elektrodenanordnung (14), die aus mindestens zwei, insbesondere in Vorschubrichtung (27), benachbarten Elektroden (7,8,9,10,11,12,13,32,49) besteht, wobei jeder Elektrode (7,8,9,10,11,12,13,32,49) der Elektrodenanordnung (14) eine Spannungssteuervorrichtung (17) mit unabhängig gesteuerten Spannungsquellen oder eine Ladungssteuervorrichtung (20) mit unabhängig gesteuerten Ladungsstellen zugeordnet ist, wobei die Spannungssteuervorrichtung (17) dazu ausgebildet ist, die an den Elektroden (7,8,9,10,11,12,13,32,49) der Elektrodenanordnung (14) anliegenden elektrischen Spannungen derart zu variieren, dass ein elektrisches Vorschubfeld (19) von der Elektrodenanordnung (14) fortschreitend derart erregt wird, dass die mindestens eine dielektrische Grenzfläche (16) dem fortschreitend erregten, elektrischen Vorschubfeld (19) derart ausgesetzt ist, dass das Vorschubfeld (19) eine Vorschubkraft (27') auf die mindestens eine dielektrische Grenzfläche (16) ausübt, wobei die Vorschubkraft (27') in Richtung zunehmender Kapazität der das Vorschubfeld (19) erregenden Elektrodenanordnung (14) wirkt.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Förderung des Wärmeaustauschmediums (2,66) in einem Strömungskanal (6,60) erfolgt, der sich in die Zwischenräume der zugeordneten Elektrodenanordnung (14) erstreckt.
12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 10 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Außenelektrode (12,13,32) als geschlossene Außenwandung (12',13',40,41) des Strömungskanals (6,60) ausgebildet ist.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die weiteren Elektroden (7,8,9,10,11,49) von der Außenelektrode (12,13,32) vollständig umfasst werden, wobei die Außenelektrode (12,13,32) und die weiteren Elektroden (7,8,9,10,11,49) voneinander getrennt sind.
14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens zwei der Elektroden (7,8,9,10) als voneinander getrennte Außenelektroden (12, 13, 32) ausgebildet sind, wobei die Außenelektroden (12, 13, 32) elektrisch voneinander getrennt sind und in eine elektrisch isolierende Außenwandung (40, 41) eingebettet oder auf der Innenseite der Außenwandung (40, 41) befestigt sind.
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine weitere Innenelektrode (7,8,9,10,11,49) im Inneren des Strömungskanals (6,60) angeordnet ist.
16. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 10 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Elektrodenanordnung (14) eine Vorrichtung zur Messung mindestens einer Kapazität aufweist.

Claims

1. Method for conveying at least one heat exchange medium (2, 66) which has at least one first fluid (3, 4, 5) which has a first permittivity and at least one second fluid (3, 4, 5) which does not mix with the first fluid (3, 4, 5) and has a second permittivity which is different from the first permittivity, at least one dielectric interface (16) being configured between the first and second fluid (3, 4, 5), which dielectric interface (16) is subjected to a progressively excited, electric advancing field (19) which exerts an advancing force (27') on the at least one dielectric interface (16), and the electric advancing field (19) being excited progressively by an electrode arrangement (14) which consists of at

least two electrodes (7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 32, 49) which are adjacent, in particular in the advancing direction (27), each electrode (7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 32, 49) of the electrode arrangement (14) being assigned a voltage control apparatus (17) with independently controlled voltage sources or a charge control apparatus (20) with independently controlled charge sources.

2. Method according to Claim 1, **characterized in that** a first liquid is used as first fluid (3, 4, 5), and a second liquid, the permittivity of which differs from the permittivity of the first liquid, is used as second fluid (3, 4, 5).
3. Method according to either of the preceding claims, **characterized in that** a liquid is used as first fluid (3, 4, 5), and a gas is used as second fluid (3, 4, 5), in particular **in that** the gas is the gas phase (36) of the first fluid (3, 4, 5).
4. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the advancing forces (27') on the heat exchange medium (2, 66) to be conveyed are generated by way of an electric field (19') which is excited by way of an electrode arrangement (14), in particular, in regions of dielectric interfaces (16) between fluids (3, 4, 5) of different permittivity.
5. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the heat exchange medium (2, 66) is held together or forced together by means of a static electric field which is superimposed on the progressively excited electric advancing field (19).
6. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the electric advancing field (19) is excited progressively by way of movement of the electric charge to further electrodes (7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 32, 49) of the electrode arrangement (14) in the advancing direction (27).
7. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the position of at least one dielectric interface (16) in the heat exchange medium (2, 66) is determined by means of measurement of the capacitance of the field-exciting electrode arrangement (14), and the flow velocity of at least one fluid section (3', 4', 5') is determined from the temporal change of the position of at least one dielectric interface (16).
8. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the temperature of at least one of the fluid sections (3', 4', 5') which are contained in the heat exchange medium (2, 66) is determined using the measured capacitance and at least one further parameter, in particular the temperature dependence of the permittivity of the fluid (3, 4, 5).
9. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** a heat flow is determined using the temperature, the flow velocity and the specific heat capacity of at least one fluid section (3', 4', 5') which is contained in the heat exchange medium (2, 66).
10. Apparatus for conveying at least one heat exchange medium (2, 66) which has at least one first fluid (3, 4, 5) which has a first permittivity and at least one second fluid (3, 4, 5) which does not mix with the first fluid (3, 4, 5) and has a second permittivity which differs from the first permittivity, at least one dielectric interface (16) being configured between the first and the second fluid (3, 4, 5), **characterized by** a capacitive electrode arrangement (14) which consists of at least two electrodes (7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 32, 49) which are adjacent, in particular in the advancing direction (27), each electrode (7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 32, 49) of the electrode arrangement (14) being assigned a voltage control apparatus (17) with independently controlled voltage sources or a charge control apparatus (20) with independently controlled charge sources, the voltage control apparatus (17) being configured to vary the electric voltages which prevail at the electrodes (7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 32, 49) of the electrode arrangement (14), in such a way that an electric advancing field (19) is excited progressively by the electrode arrangement (14) in such a way that the at least one dielectric interface (16) is subjected to the progressively excited, electric advancing field (19) in such a way that the advancing field (19) exerts an advancing force (27') on the at least one dielectric interface (16), the advancing force (27') acting in the direction of increasing capacitance of the electrode arrangement (14) which excites the advancing field (19).
11. Apparatus according to Claim 10, **characterized in that** the conveying of the heat exchange medium (2, 66) takes place in a flow duct (6, 60) which extends into the intermediate spaces of the associated electrode arrangement (14).
12. Apparatus according to either of the preceding Claims 10 and 11, **characterized in that** the outer electrode (12, 13, 32) is configured as a closed outer wall (12', 13', 40, 41) of the flow duct (6, 60).

13. Apparatus according to Claim 12, **characterized in that** the further electrodes (7, 8, 9, 10, 11, 49) are enclosed completely by the outer electrode (12, 13, 32), the outer electrode (12, 13, 32) and the further electrodes (7, 8, 9, 10, 11, 49) being separated from one another.

14. Apparatus according to either of the preceding Claims 10 and 11, **characterized in that** at least two of the electrodes (7, 8, 9, 10) are configured as outer electrodes (12, 13, 32) which are separated from one another, the outer electrodes (12, 13, 32) being separated electrically from one another and being embedded into an electrically insulating outer wall (40, 41) or being fastened on the inner side of the outer wall (40, 41).

15. Apparatus according to Claim 14, **characterized in that** a further inner electrode (7, 8, 9, 10, 11, 49) is arranged in the interior of the flow duct (6, 60).

16. Apparatus according to one of the preceding Claims 10 to 15, **characterized in that** the electrode arrangement (14) has an apparatus for measuring at least one capacitance.

Revendications

1. Procédé de transport d'au moins un milieu d'échange de chaleur (2, 66), lequel possède au moins un premier fluide (3, 4, 5) qui présente une première permittivité et au moins un deuxième fluide (3, 4, 5) qui ne se mélange pas avec le premier fluide (3, 4, 5), lequel présente une deuxième permittivité qui est différente de la première permittivité, au moins une surface de délimitation (16) diélectrique étant formée entre le premier et le deuxième fluide (3, 4, 5), laquelle est exposée à un champ d'avancement (19) électrique excité progressivement, lequel exerce une force d'avancement (27') sur l'au moins une surface de délimitation (16) diélectrique, et le champ d'avancement (19) électrique étant progressivement excité par un arrangement d'électrodes (14) qui se compose d'au moins deux électrodes (7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 32, 49) voisines, notamment dans le sens de l'avancement (27), un dispositif de commande de tension (17) avec des sources de tension commandées indépendamment ou un dispositif de commande de charge (20) avec des sources de charge commandées indépendamment étant associé à chaque électrode (7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 32, 49) de l'arrangement d'électrodes (14).

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le premier fluide (3, 4, 5) utilisé est un premier liquide et le deuxième fluide (3, 4, 5) utilisé est un deuxième liquide dont la permittivité est différente de la permittivité du premier liquide.

3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le premier fluide (3, 4, 5) utilisé est un liquide et le deuxième fluide (3, 4, 5) utilisé est un gaz, notamment **en ce que** le gaz est la phase gazeuse (36) du premier fluide (3, 4, 5).

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les forces d'avancement (27') sur le milieu d'échange de chaleur (2, 66) à transporter sont générées avec un champ électrique (19'), lequel est notamment excité avec un arrangement d'électrodes (14) dans les zones des surfaces de délimitation (16) diélectriques entre les fluides (3, 4, 5) de permittivité différente.

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le milieu d'échange de chaleur (2, 66) est maintenu en cohésion ou maintenu concentré au moyen d'un champ électrique statique qui est superposé au champ d'avancement (19) électrique excité progressivement.

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le champ d'avancement (19) électrique est excité progressivement par déplacement de la charge électrique sur d'autres électrodes (7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 32, 49) de l'arrangement d'électrodes (14) dans le sens de l'avancement (27).

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la position d'au moins une surface de délimitation (16) diélectrique dans le milieu d'échange de chaleur (2, 66) est déterminée au moyen de la mesure de la capacité de l'arrangement d'électrodes (14) d'excitation du champ et la vitesse d'écoulement d'au moins une portion de fluide (3', 4', 5') est déterminée à partir de la variation dans le temps de la position d'au moins une surface de délimitation (16) diélectrique.

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la température d'au moins une portion

de fluide (3', 4', 5') contenue dans le milieu d'échange de chaleur (2, 66) est déterminée au moyen de la capacité mesurée et d'au moins un paramètre supplémentaire, notamment de la dépendance à la température de la permittivité du fluide (3, 4, 5).

- 5 9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'un** flux thermique est déterminé au moyen de la température, de la vitesse d'écoulement et de la capacité calorifique spécifique d'au moins une portion de fluide (3', 4', 5') contenue dans le milieu d'échange de chaleur (2, 66).

- 10 10. Dispositif pour transporter au moins un milieu d'échange de chaleur (2, 66), lequel possède au moins un premier fluide (3, 4, 5) qui présente une première permittivité et au moins un deuxième fluide (3, 4, 5) qui ne se mélange pas avec le premier fluide (3, 4, 5), lequel présente une deuxième permittivité qui est différente de la première permittivité, au moins une surface de délimitation (16) diélectrique étant formée entre le premier et le deuxième fluide (3, 4, 5), **caractérisé par** un arrangement d'électrodes (14) capacitif qui se compose, notamment dans le sens d'avancement (27), d'au moins deux électrodes (7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 32, 49) voisines, un dispositif de commande de tension (17) avec des sources de tension commandées indépendamment ou un dispositif de commande de charge (20) avec des sources de charge commandées indépendamment étant associé à chaque électrode (7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 32, 49) de l'arrangement d'électrodes (14'), le dispositif de commande de tension (17) étant configuré pour faire varier les tensions électriques appliquées aux électrodes (7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 32, 49) de l'arrangement d'électrodes (14) de telle sorte qu'un champ d'avancement (19) électrique est excité progressivement par l'arrangement d'électrodes (14) de telle sorte que l'au moins une surface de délimitation (16) diélectrique est exposée au champ d'avancement (19) électrique excité progressivement de telle sorte que le champ d'avancement (19) exerce une force d'avancement (27') sur l'au moins une surface de délimitation (16) diélectrique, la force d'avancement (27') agissant dans la direction de la capacité croissante de l'arrangement d'électrodes (14) qui excite le champ d'avancement (19) .

- 25 11. Dispositif selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** le transport du milieu d'échange de chaleur (2, 66) s'effectue dans un canal d'écoulement (6, 60) qui s'étend dans les espaces intermédiaires de l'arrangement d'électrodes (14) associé.

- 30 12. Dispositif selon l'une des revendications précédentes 10 à 11, **caractérisé en ce que** les électrodes extérieures (12, 13, 32) sont réalisées sous la forme de la paroi extérieure fermée (12', 13', 40, 41) du canal d'écoulement (6, 60).

- 35 13. Dispositif selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** les autres électrodes (7, 8, 9, 10, 11, 49) sont entièrement entourées par les électrodes extérieures (12, 13, 32), les électrodes extérieures (12, 13, 32) et les autres électrodes (7, 8, 9, 10, 11, 49) étant séparées les unes des autres.

- 40 14. Dispositif selon l'une des revendications précédentes 10 à 11, **caractérisé en ce qu'au** moins deux des électrodes (7, 8, 9, 10) sont réalisées sous la forme d'électrodes extérieures (12, 13, 32) séparées les unes des autres, les électrodes extérieures (12, 13, 32) étant isolées électriquement les unes des autres et étant enrobées dans une paroi extérieure (40, 41) électriquement isolée ou fixées sur le côté intérieur de la paroi extérieure (40, 41).

- 45 15. Dispositif selon la revendication 14, **caractérisé en ce qu'une** autre électrode intérieure (7, 8, 9, 10, 11, 49) est disposée à l'intérieur du canal d'écoulement (6, 60).

- 50 16. Dispositif selon l'une des revendications précédentes 10 à 15, **caractérisé en ce que** l'arrangement d'électrodes (14) possède un dispositif servant à mesurer au moins une capacité.

50

55

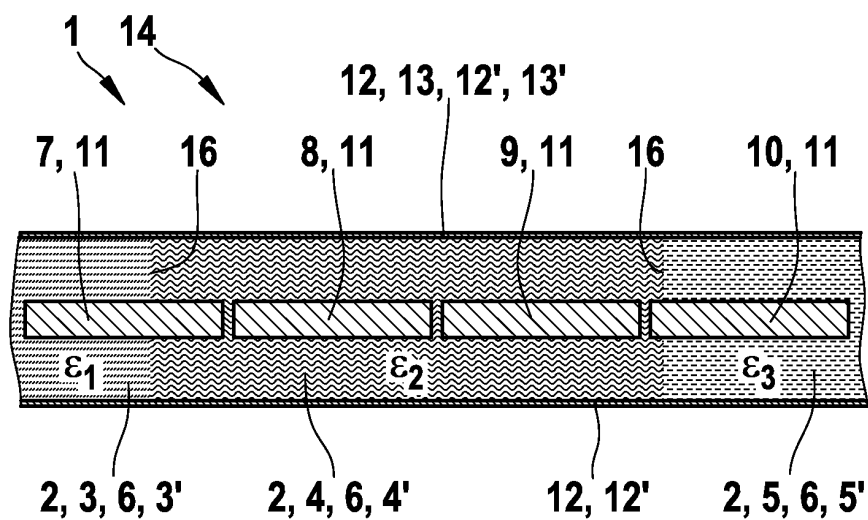


Abbildung 1

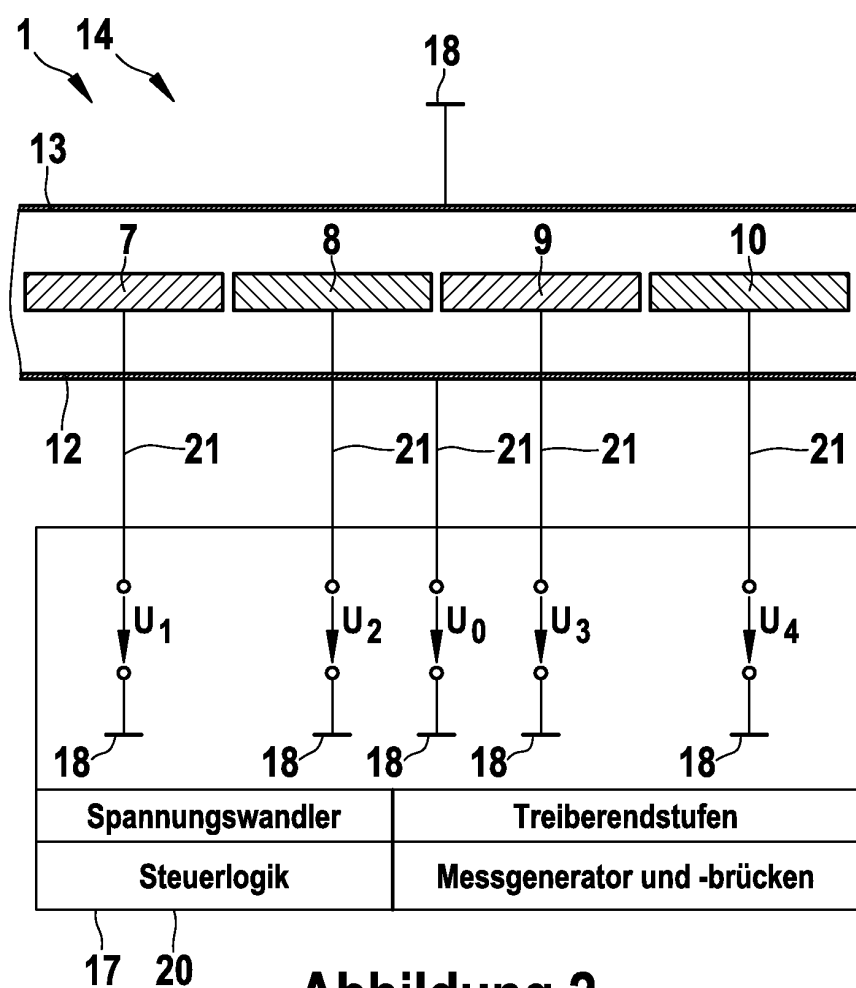


Abbildung 2

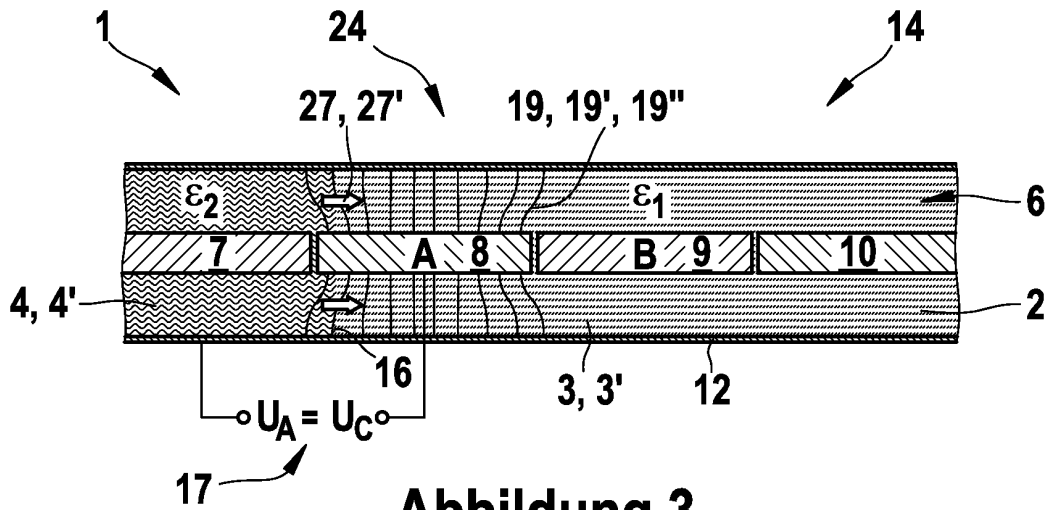


Abbildung 3

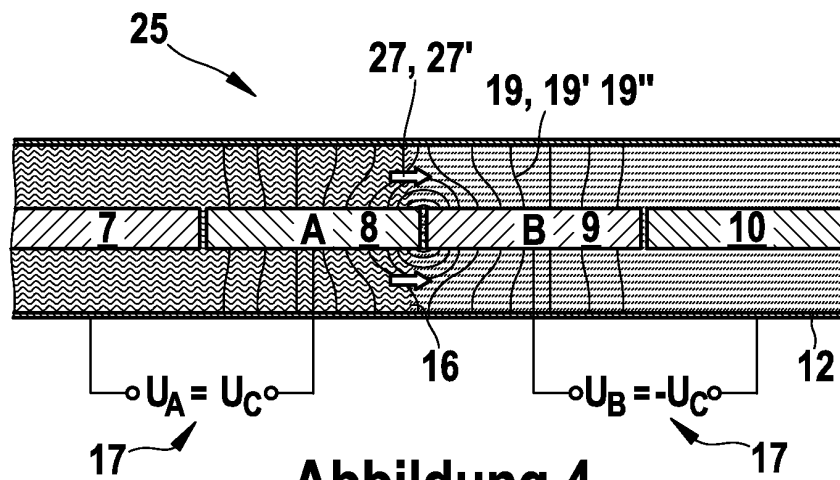


Abbildung 4

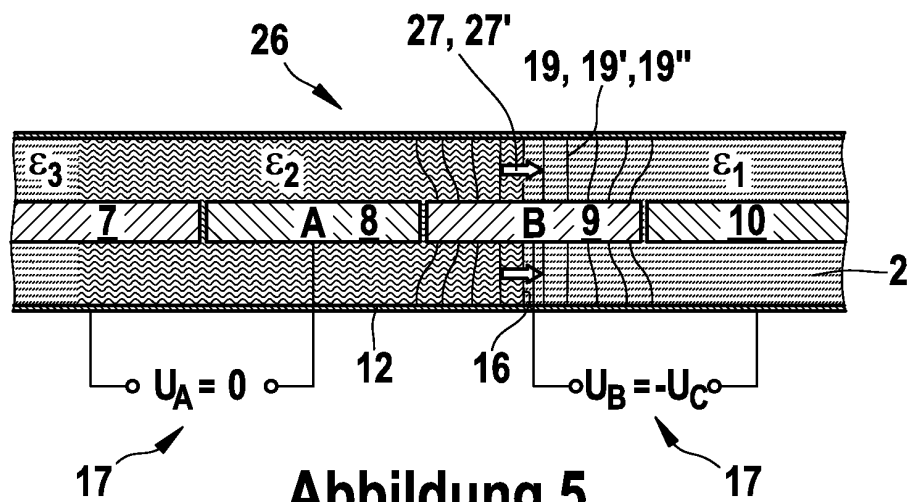


Abbildung 5

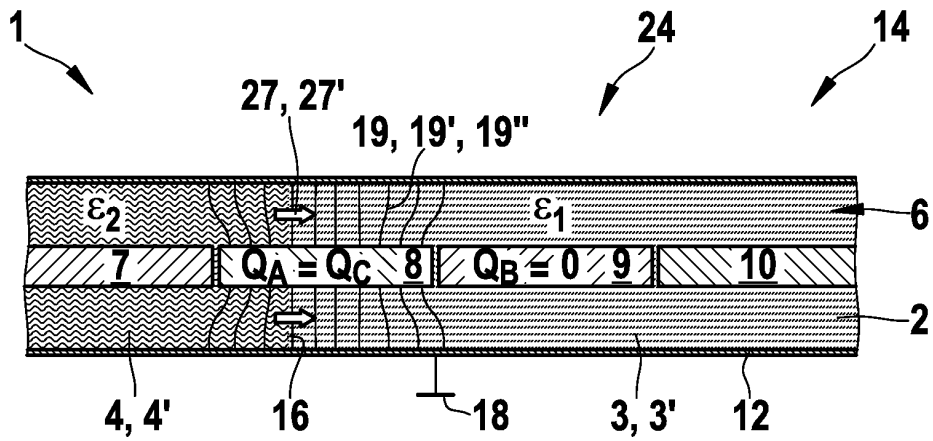


Abbildung 6

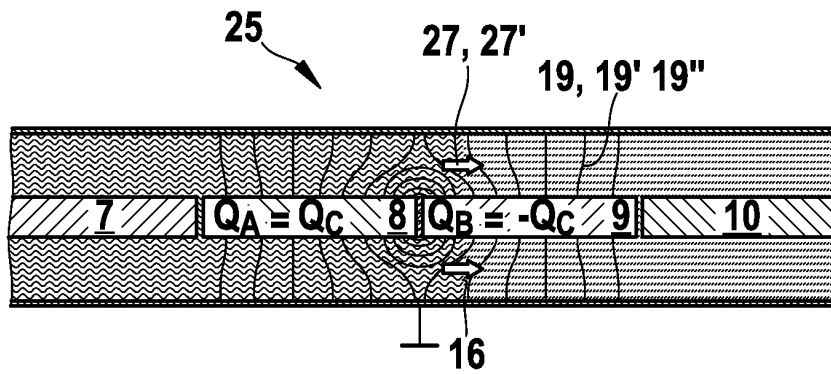


Abbildung 7

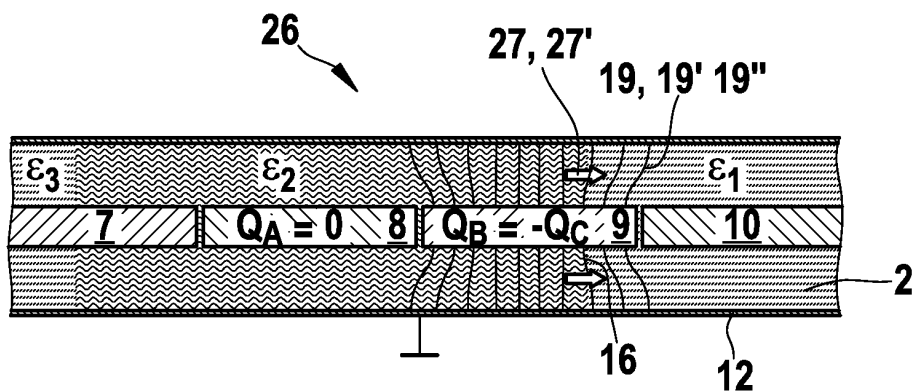


Abbildung 8

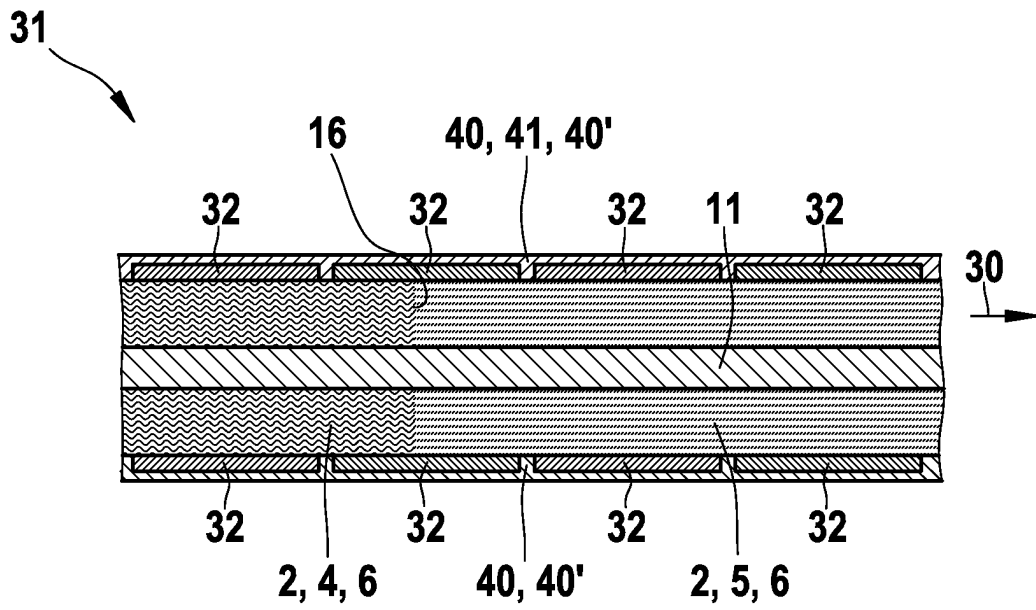


Abbildung 9

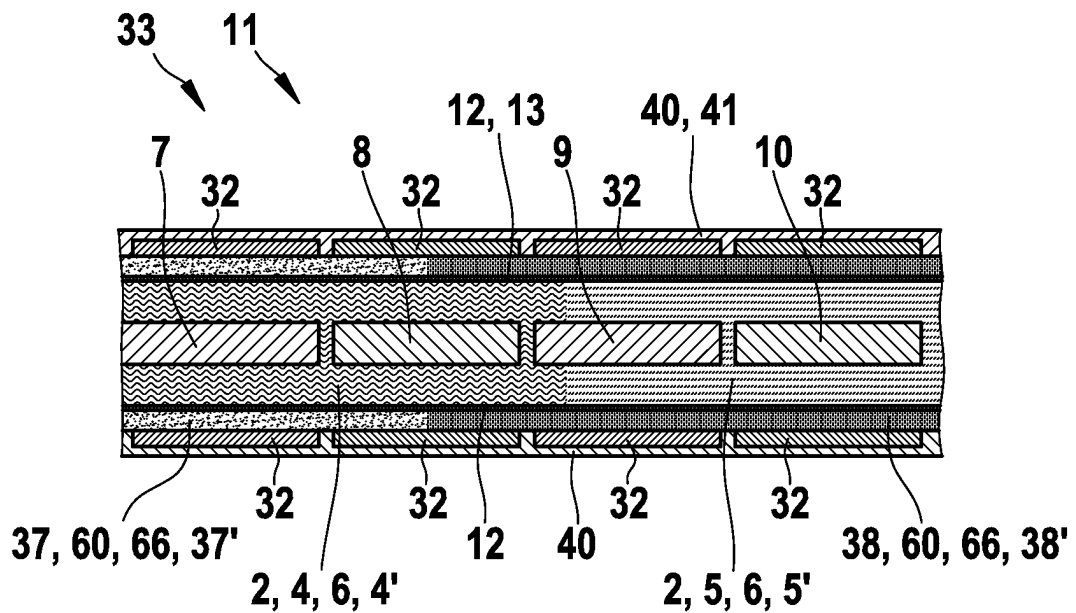


Abbildung 10

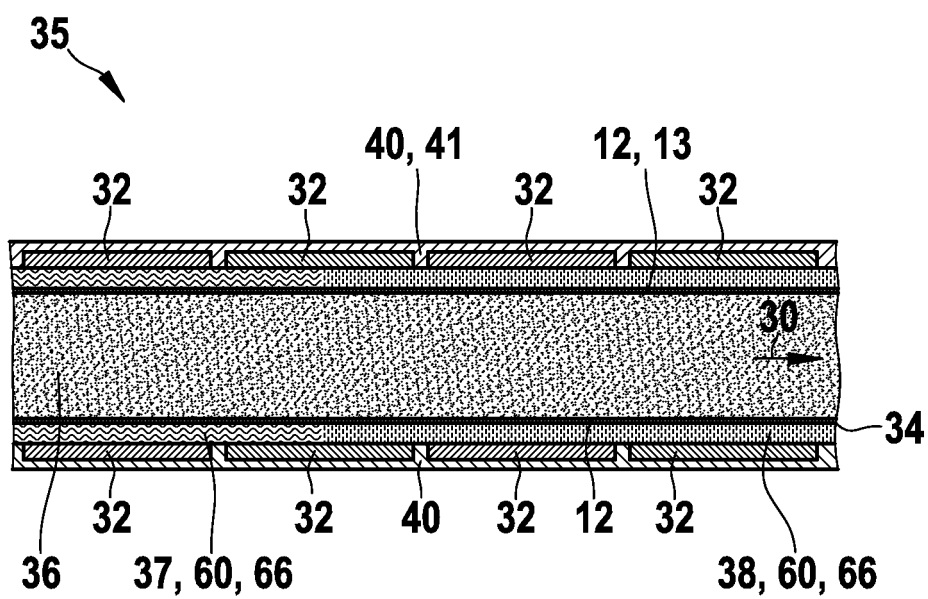


Abbildung 11

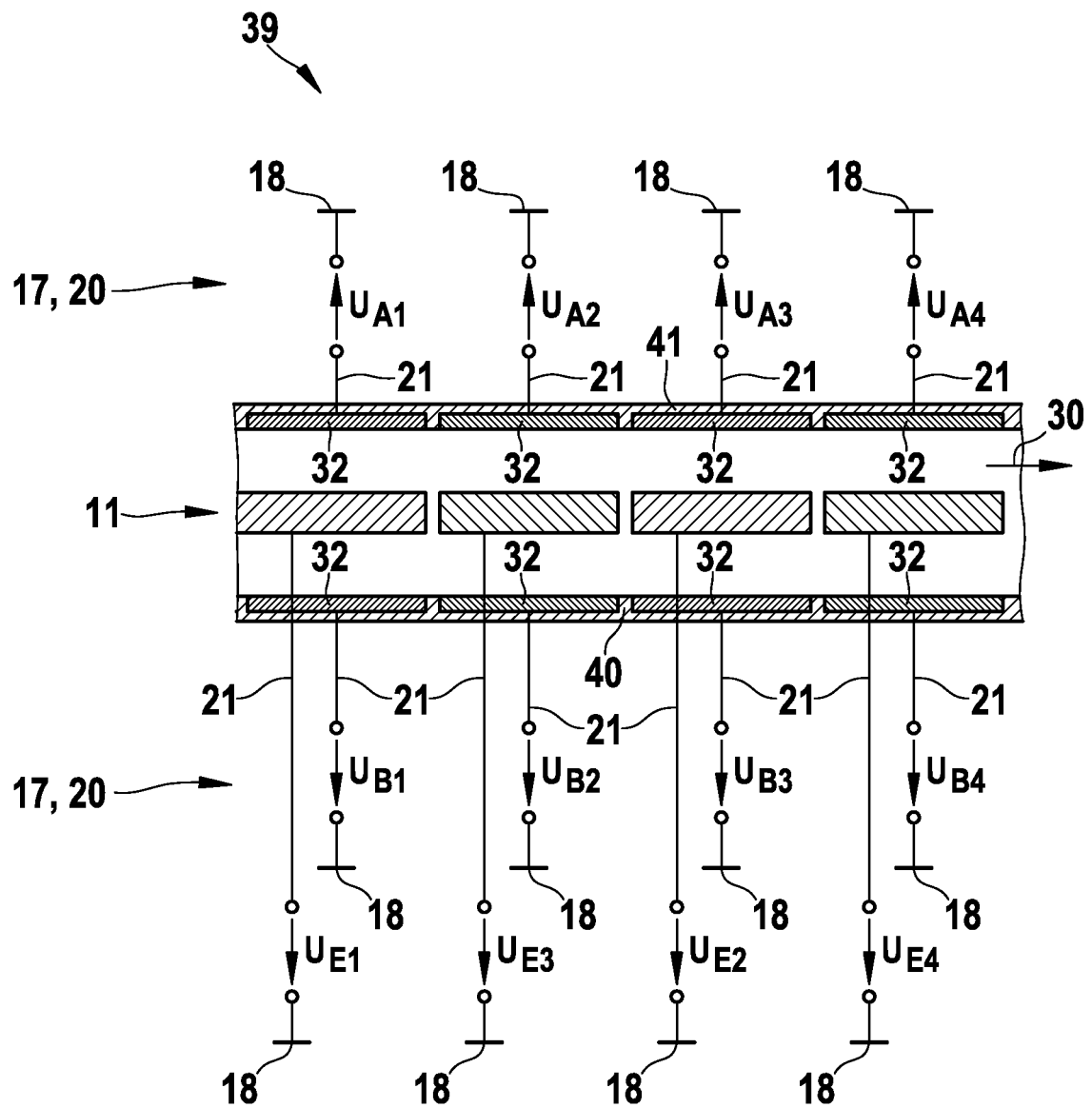


Abbildung 12

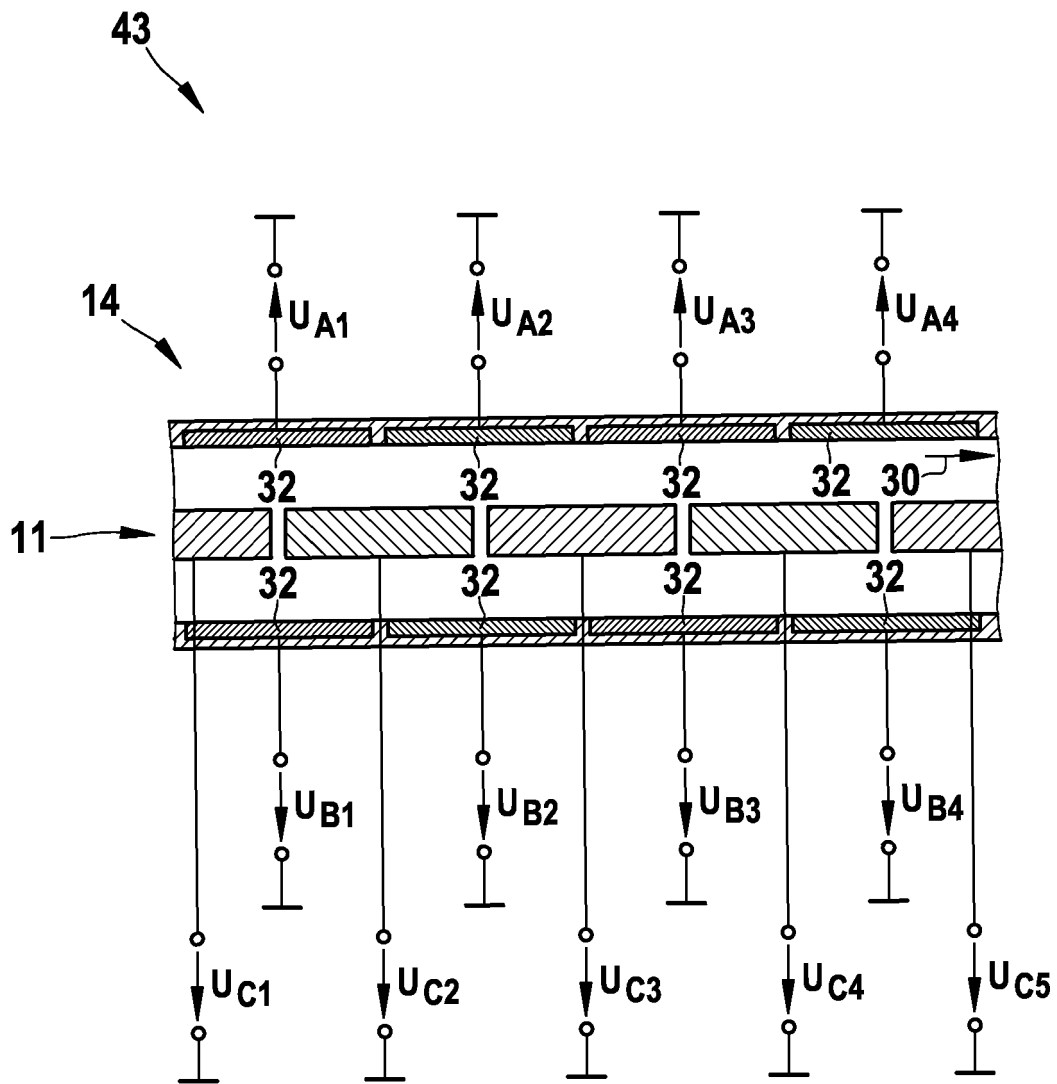


Abbildung 13

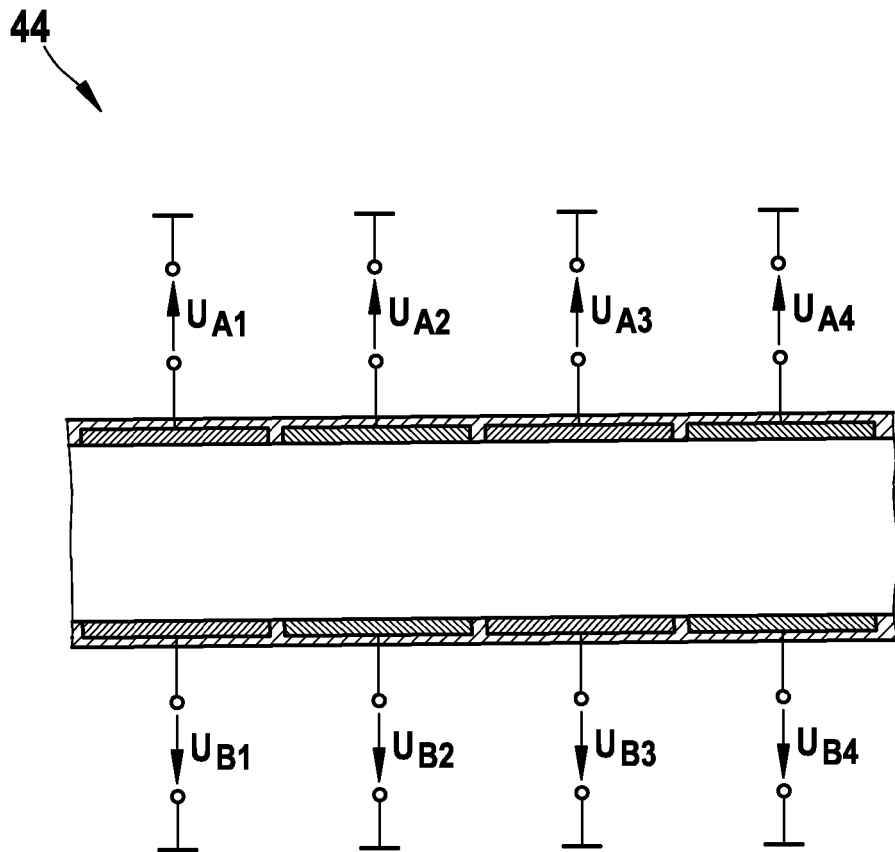


Abbildung 14

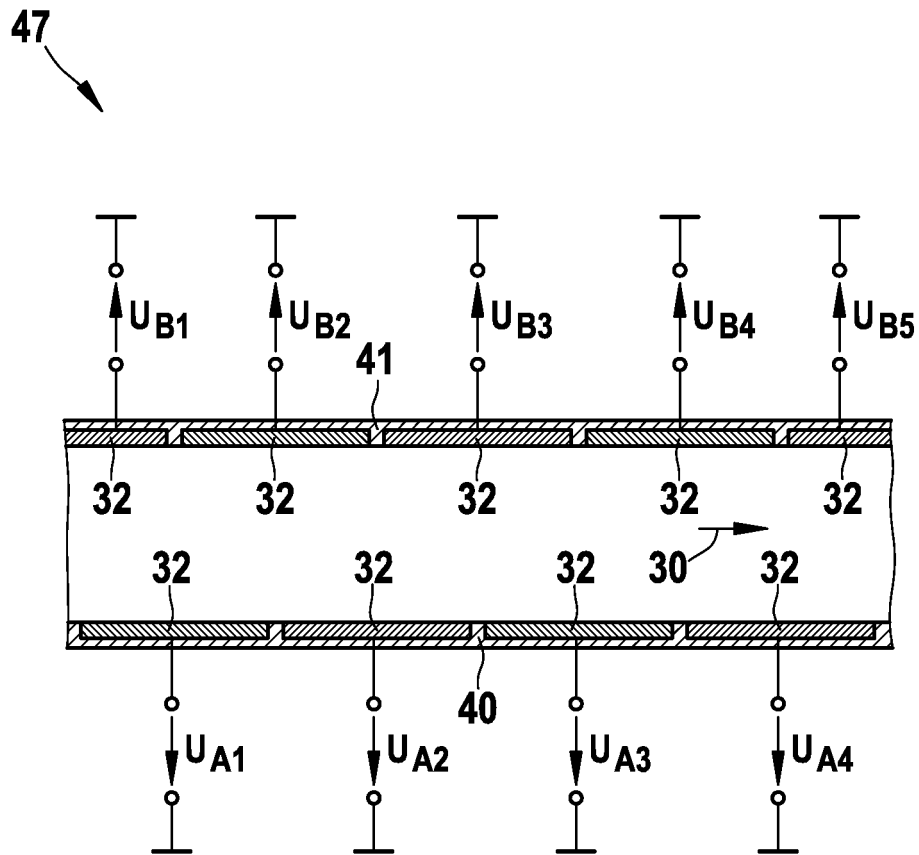


Abbildung 15

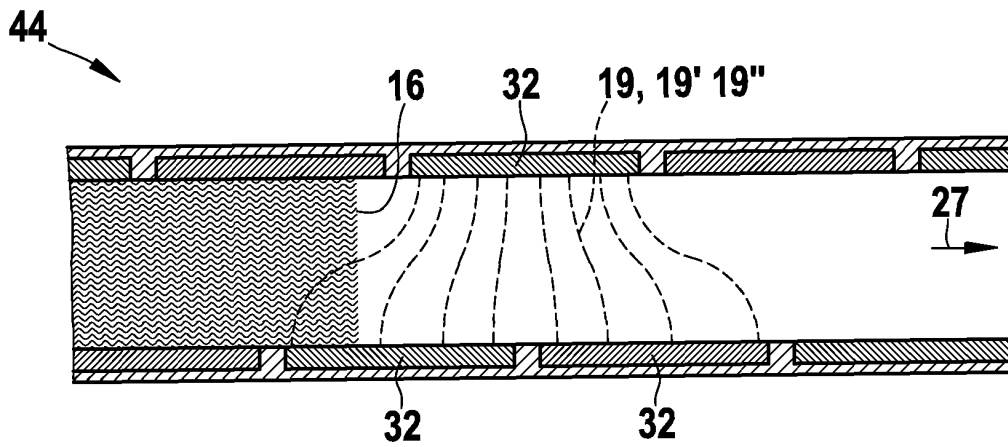


Abbildung 16

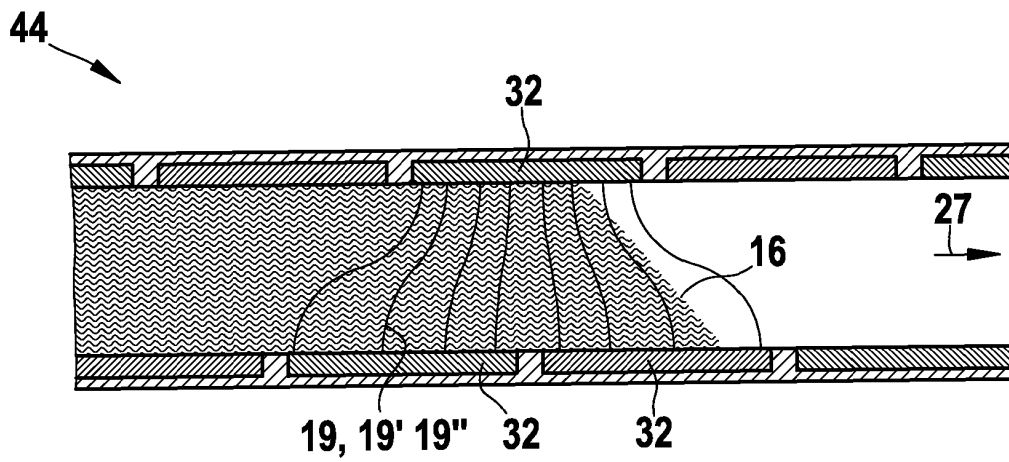


Abbildung 17

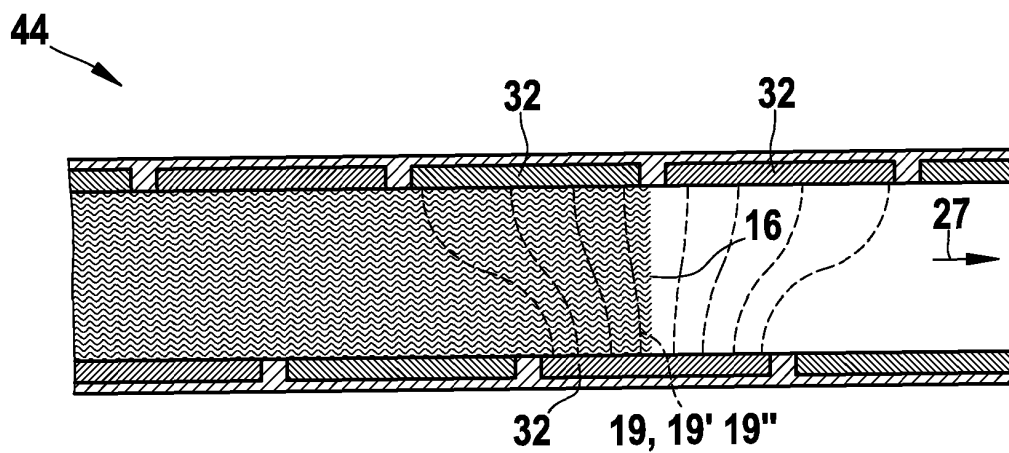


Abbildung 18

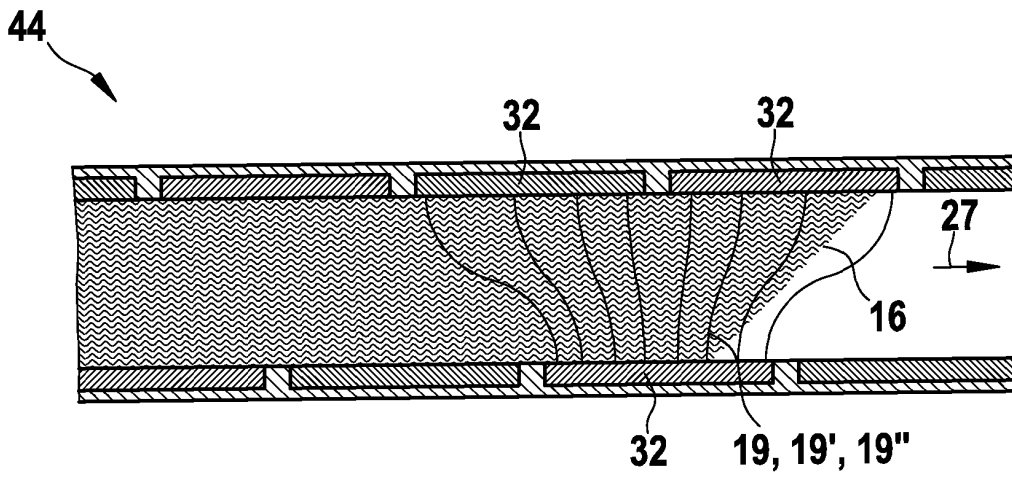


Abbildung 19

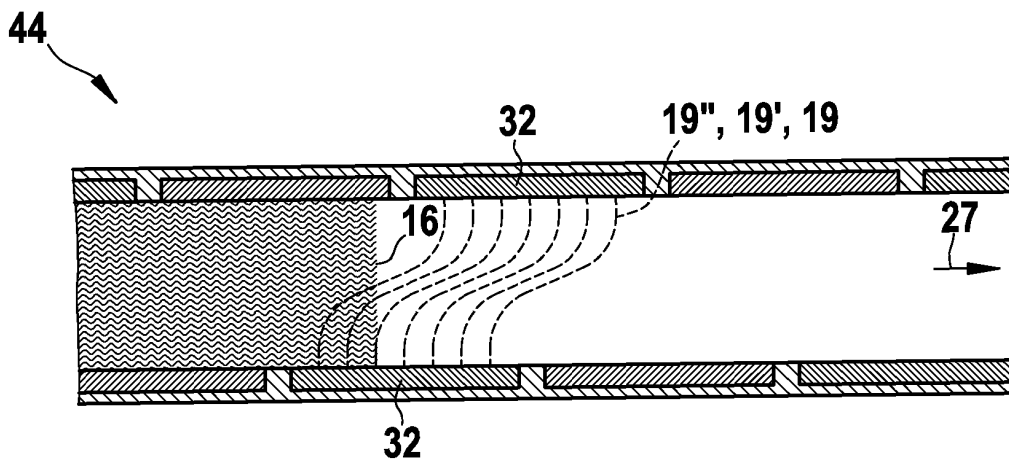


Abbildung 20

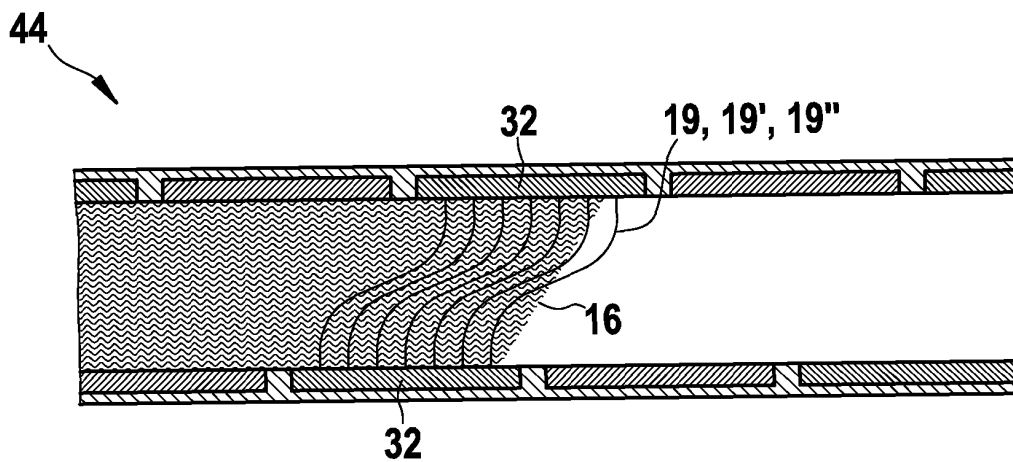


Abbildung 21

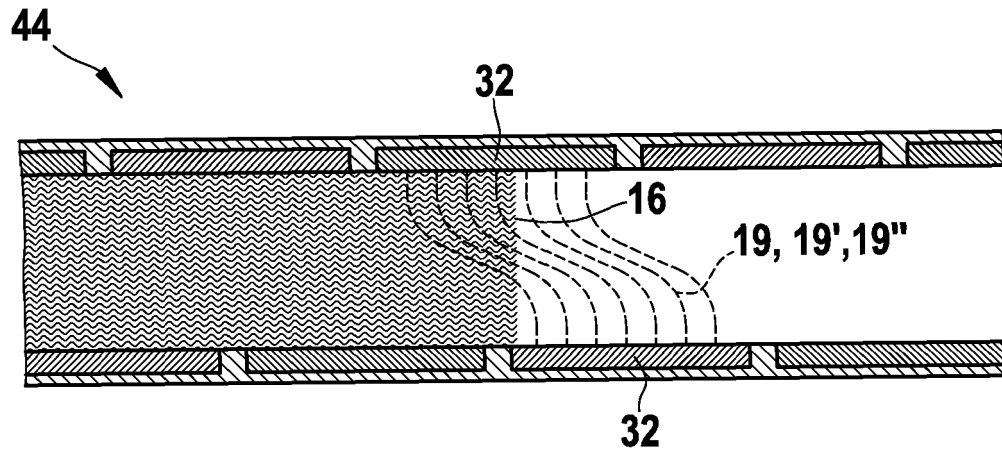


Abbildung 22

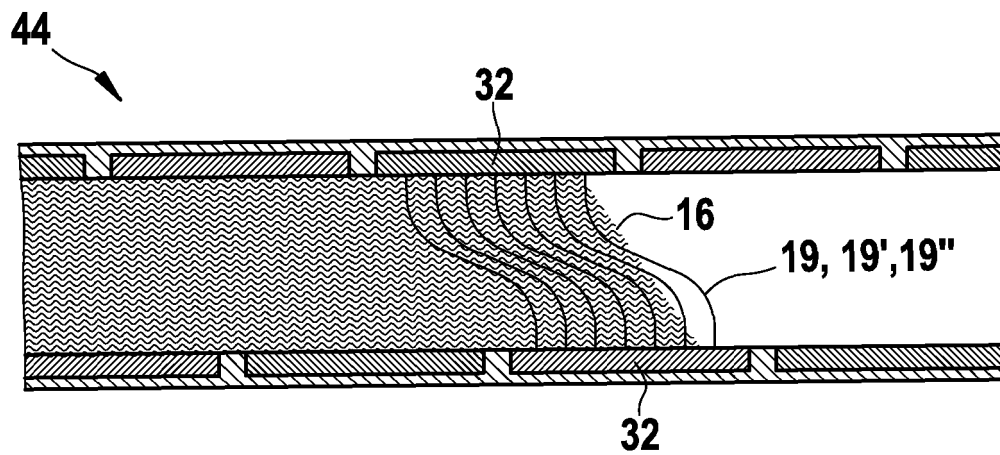


Abbildung 23

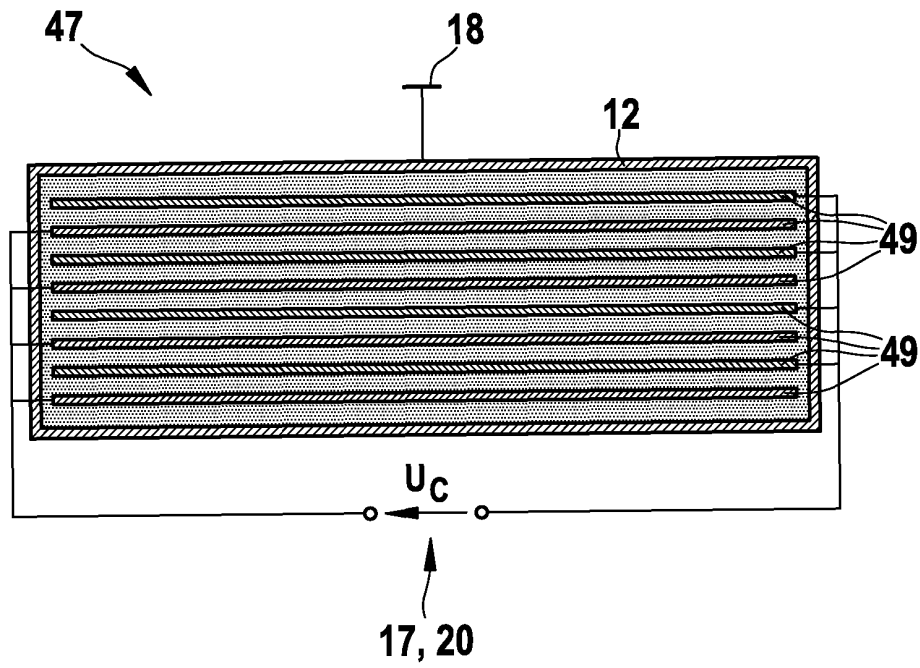


Abbildung 24

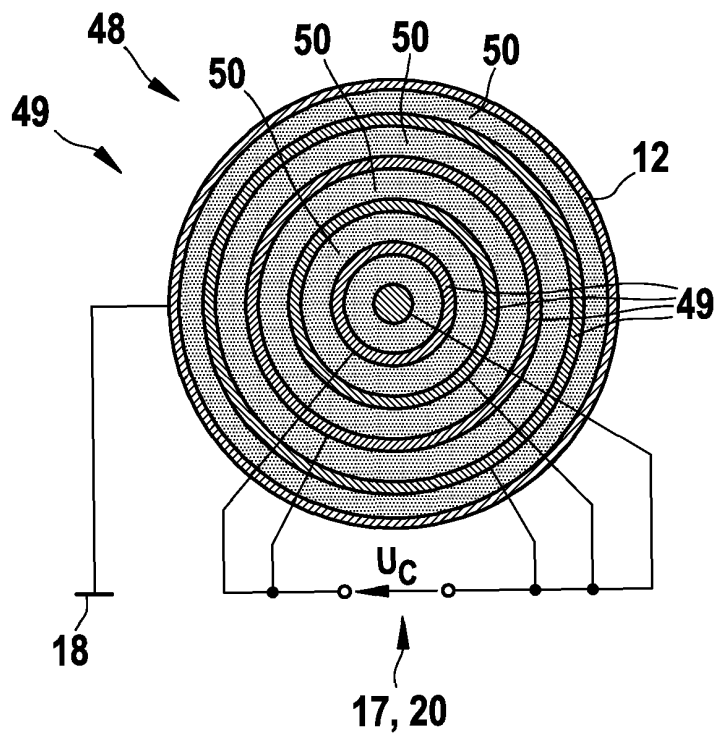


Abbildung 25

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 4396055 A [0009]