



F1000096547B



SUOMI-FINLAND

(FI)

Patentti- ja rekisterihallitus
Patent- och registerstyrelsen(B) (11) KUULUTUSJULKAISU
UTLAGGNINGSSKRIFT

96547

C (45) Patentti myönnetty
Patent meddelat 10 07 1996

(51) Kv.1k.6 - Int.c1.6

G 01N 27/00

(21) Patenttihakemus - Patentansökning	882576
(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag	01.06.88
(24) Alkupäivä - Löpdag	01.06.88
(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig	03.12.88
(44) Nähtäväksipanon ja kuul.julkaisun pvm. - Ansökan utlagd och utl.skriften publicerad	29.03.96
(32) (33) (31) Etuoikeus - Prioritet	
02.06.87 US 057034 P	

(71) Hakija - Sökande

1. Djourup, Robert S., 20 Lovewell Road, Wellesley, MA 02181, USA, (US)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1. Djourup, Robert S., 20 Lovewell Road, Wellesley, MA 02181, USA, (US)

(74) Asiamies - Ombud: Oy Kolster Ab

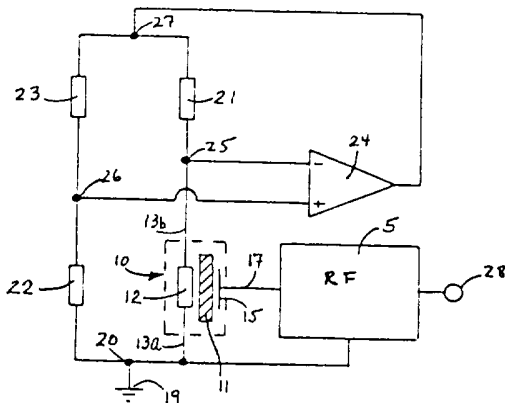
(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

Vakiolämpötilaisena toimiva hygrometri
Hygrometer med konstant temperatur

(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Keksinnön kohteena on hygrometri ilman vesihöyrypitoisuuden mittaamiseksi. Muunmuassa anturin herkkyyden ja stabiilisuuden parantamiseksi hygrometri käsittää pietsosähköisen pohjalevyn (11), jolla on toisella puolella lämpötilakertoimeltaan huomattava vastus (12) ja vastakkaisella puolella johtava elektrodi (15), toisen tai molempien johdinpintojen ollessa osittain tai kokonaan peitettynä alumiinimetallista anodisoidulla hygroskooppisella alumiinioksidikerroksella, joka on kerrostettu toiselle tai molemmille johdinpinoista. Takaisinkytkennällä ohjattu siltapiiri (12, 21, 22, 23) pitää pohjalevyn (11) lämpötilan vakiona, ja radiotaajuinen oskillaattori (5) saa pohjalevyn (11) värähtelemään ja ilmaisee värähtelyn taajuuden. Hygrometrin anturin rakenne ja vesihöyryä sorboiva materiaali voivat vaihdella.



Uppfinningen avser en hygrometer för mätning av luftens vattenånghalt. Bl.a. för förbättring av givarens känslighet och stabilitet omfattar hygrometern en piezoelektrisk basskiva (11), vilken uppbär ett temperaturkoefficientmotstånd (12) på den ena ytan och en ledande elektrod (15) på den motsatta ytan, varvid den ena eller bägge ledarytorna partiellt eller helt täcks av ett hygroskopiskt aluminiumoxidskikt, vilket anodiserats från aluminiummetall som utfästs på den ena eller bägge ledarytorna. En genom återkoppling styrd bryggkrets (12, 21, 22, 23) håller temperaturen i basskivan (11) konstant, och en radiofrekvent oscillator-krets (5) exciterar basskivan (11) och indikerar exciteringsfrekvensen. Hygrometergivarens struktur och det vattenånga sorberande materialet kan alternera.

Vakiolämpötilaisena toimiva hygrometri

Tämän keksinnön kohteena on hygrometri. Keksintö liittyy yleisesti parannettuun kosteusmittauslaitteeseen ilman vesihöyrypitoisuuden mittaamiseksi. Erityisesti keksintö koskee vakiolämpötilaisena toimivaa hygrometrin anturilaitetta ja sorptiohygrometrin anturilaitetta, joka on toiminnaltaan herkkä ja stabiili sekä yksinkertainen ja edullinen valmistaa. Keksintöön sisältyy myös tulenkestävälle pohjalevylle valmistettujen kapasitiivisten, resistiivisten ja akustiseen pinta-aaltotekniikkaan perustuvien kosteusantureiden sekä yleensä pohjalevylle valmistettujen antureiden vakiolämpötilainen toiminta.

Sähköisen kosteusmittauksen tekniikka on kypsä ja hyvin kehittynyt tekniikan ala. Hygroskooppisia materiaaleja on käytetty sorptioilmaisimissa kidemikrovaaoissa, eristeinä kondensaattoreissa ja pinnoitteina elektrodeissa, jotka yhdessä toimivat muuttuvina resistansseina. Herkimpiin hygrometreihin kuuluvat pietsosähköisiä kvartsikiteitä käyttävät sorptiohygrometrit, joiden toiminta perustuu vesihöyryn adsorptioon värähtelevän kvartsikiteen hygroskooppiseen pinnoitteeseen. Seurauksena oleva painon lisääntyminen muuttaa värähtelytaajuutta määrällä, joka on verrannollinen painon lisäykseen, ja laite toimii hyvin herkkänä mikrovaakana. Useita esimerkkejä pinnoitetuissa pietsosähköisissä analysaattoreissa käytetyistä mikrovaakamekanismeista on esitetty US-patentissa 3 164 004, jossa annetaan tietoja eri materiaaleista, joita voidaan käyttää herkkinä pinnoitteina, ja jossa selitetään myös mikrovaakatekniikan yksityiskohtia. William H. King, Jr. on kuvannut kvartsikiteiden käyttöä sorptioilmaisimissa laajasti otsikolla "Using Quartz Crystals as Sorption Detectors" lehden "Research/Development" huhti- ja toukokuun 1969 numeroissa vastaavasti sivuilla 28-34 ja 28-33. Mikrovaakatekniikasta antaa lisää tietoja US-patentti 3 253 219,

joka selittää korroosionopeuden mittauksia kidemikrovaakatekniikkaa käyttäen. Myöhemmin US-patentti 4 562 725 antaa tietoa joukosta kosteusherkkiä kalvopinnoitteita, joita voidaan käyttää mikrovaakakiteissä sekä myös resistiivisissä antureissa.

5 Metallioksidien, ja erityisesti alumiinioksidin, käytöstä kosteuden tunnustelussa antaa tietoa US-patentti 2 237 006, joka kuvaa kapasitanssityyppistä kosteusanturia, jossa käytetään alumiinioksidia hygroskooppisena kerroksena kondensaattorilevyjen välissä. US-patentti 3 075 10 385 kehittää edelleen tätä lähestymistapaa käyttäen alumiinioksidia eristeenä radiosondeihin tarkoitettussa kapasitiivisessa hygrometrissä. US-patentit 3 523 244 ja 4 143 15 177 kuvaavat myös kapasitiivisiä hygrometrejä, joissa käytetään alumiinioksidia kosteusherkkinä elementtinä kondensaattorilevyjen välissä, ja jälkimmäinen patentti antaa myös tietoa alumiinioksidin ja piidioksidin käytöstä kosteusherkkinä elementtinä puolijohdekomponenttien rakenteissa. Lisäksi saadaan tietoa erillisistä lämmitysvastuksista sekä lämpötilaa tunnustelevista vastuksista tai puolijohteista, joita käytetään kuvattujen oksidieristeiden kapasitiivisten hygrometrien yhteydessä.

25 Polymeerikalvoja käytetään laajasti kosteusherkkinä elementteinä, ja US-patentti 4 164 868 antaa tietoa hygroskooppisten polymeerikalvojen käytöstä eristeenä kapasitiivisissa kosteusantureissa. US-patentit 3 350 941, 3 582 728 ja 3 802 268 kuvaavat ja määrittelevät muita kapasitiivisissa kosteusantureissa käytettyjä hygroskooppisia kalvoja.

30 Tekniikan tason hygrometrien anturit toimivat yleensä ympäristön lämpötilassa, ja siksi niihin voi helposti kertyä kosteutta, mikä rajoittaa niiden toimintaherkkyyttä. Alumiinioksidia käyttävät kosteusanturit havainnollistavat usein ympäristön lämpötilassa toimimisessa 35 johtuvaa huonoa kalibrointistabiiliutta. Alumiinioksidin

reagointi veden kanssa, alumiinioksidin ja hydroksidin reagoinnin aste, ilmenee kalibroinnin epästabiiliutena, joka usein sekoitetaan hystereesiin. Monissa kapasitiivisten hygrometrien antureissa, joissa käytetään eristeenä
5 hygrometrisiä kalvomateriaaleja, paljastuvat monet samoista puutteista. Etenkin jos sellaiset anturit kastuvat tai tulevat kosteuden kyllästämiksi, kuluu äärimmäisen pitkä aika, ennen kuin ne kuivuvat ja pystyvät jälleen reagoimaan ilmankosteuden muutoksiin. Tiettyjen kapasitiivisten
10 hygrometrien antureiden toimintaa rajoittaa tai heikentää osittain välttämätön metallielektrodi hygroskooppisen kerroksen molemmilla pinnoilla.

Edellä mainitut heikkoudet voidaan välttää keksinnön mukaisella hygrometrillä, jolle on tunnusomaista, että
15 se käsittää:

pietsosähköisen pohjalevyn, joka sisältää siihen kiinnitetyn sorptiivisen materiaalin;

kuumentimen, joka on sovitettu pitämään pohjalevyn vakiolämpötilassa;

20 elektrodit, jotka on sijoitettu pohjalevyn vastakkaisille puolille; ja

elektrodeihin kytketyn oskillaattoriipiirin, joka on sovitettu saattamaan pohjalevyn värähtelemään ja kehittämään signaalin, joka on verrannollinen värähtelyn taajuuteen, värähtelyn taajuuden ollessa suhteessa sorboituneen
25 veden määrään.

Keksintö voittaa monet niistä ongelmista, jotka koskevat tekniikan tason hygrometrien antureita, ja saa aikaan merkittävän parannuksen hygrometrin anturin toimissa ja reagointinopeudessa käyttämällä hyväksi aktiivisen anturielementin säädettyä vakiolämpötilaista toimintaa. Näin menetellen syntyy tilanne, ikäänkuin koko anturin ympäristö olisi säädettyssä lämpötilassa. Hygrometrin anturi desorboidaan tai kuivataan säännöllisin väliajoin
35 tai vaadittaessa. Parannettu sorptiohygrometrin vakioläm-

pötilainen mikrovaaka-anturi sekä myös parannuksen soveltaminen muihin, kapasitiivista, resistiivistä tai akustisen pinta-aaltotekniikan käyttöön perustuvaa tyyppiä oleviin, pohjalevylle valmistettuihin hygrometrin antureihin selitetään jatkossa.

Keksinnön mukainen vakiolämpötilaisena toimiva hygrometri sisältää eristävän pohjalevyn, jolla on esimerkiksi platinametallia oleva resistiivinen johdin, jonka vastuksen lämpötilakerroin on positiivinen, sorptiivisen pinnoitteen johtimen päällä, takaisinkytkennällä ohjatun sähköisen piirin resistiivisen johtimen toimintalämpötilan (resistanssin) pitämiseksi vakiona sekä vaatimusten mukaisen sähköisen piirin sorboituneen vesihöyryn määrän tunnistelemiseksi tai havaitsemiseksi. Ensisijaisessa sovellutusmuodossa aktiivinen sorptiivinen pinnoite on alumiinioksidia, joka on anodisoitu platinavastuksen päälle kerrostetusta alumiinimetallista. Tässä ensisijaisessa sovellutusmuodossa eristävä pohjalevy on pietsosähköinen kide, esimerkiksi kvartsikide, joka on tukirakenteena myös toiselle elektrodille, RF-elektrodille. Kun kiteen elektrodipari, RF-elektrodi ja resistiivinen johdin, kytketään RF-oskillaattoripiiriin kiteen saamiseksi värähtelemään, kiteelle rakennettu anturi yhdessä RF-oskillaattoripiirin kanssa toimii herkkänä kidemikrovaakana. Kun resistiivinen johdin on kytketty takaisinkytkennällä ohjattuun Wheatstonen siltaan, jota käytetään säätämään resistiivisen johtimen toiminta ennalta asetettuun vakiolämpötilaan ympäristön lämpötilan yläpuolelle, yhdistelmästä tulee vakiolämpötilaisena toimiva mikrovaakaa käyttävä sorptiohygrometri.

Jatkossa selitetään sovellutusmuotoja, joissa sorptiivinen pinnoite on levitetty molemmille elektrodeille ja myös koko anturilaitteen päälle. Myös sellainen sovellutusmuoto on selitetty, jossa toinen RF-elektrodi on lomitettu resistiivisen johtimen kanssa helpottamaan vakioläm-

pötilan säädön ja RF-oskillaattoriipiirin eristämistä toisistaan. Muut sovellutusmuodot tuovat esiin vaihtoehtoisia sorptiivisia tai hygroskooppisia pinnoitteita. Vielä eräissä sovellutusmuodoissa selitetään vakiolämpötilaisten toiminnan käyttöä ja lämpötilakertoimeltaan sopivan resistiivisen johtimen soveltamista pohjalevylle valmistettuihin kapasitiivisiin, resistiivisiin ja akustiseen pinta-aaltotekniikkaan perustuviin kosteusantureihin. Myös sellainen vakiolämpötilaisen toiminnan soveltaminen antureihin, jossa lämpötilakertoimeltaan sopiva resistanssi valmistetaan anturirakenteen sisään, selitetään. Keksintö voittaa monet tekniikan tason hygrometrien antureihin liittyvät ongelmat kosteuden kertymisen ja epästabiiliuden suhteen, koska keksinnön mukaan hygrometrin anturit toimivat optimaalisissa vakiolämpötilaolosuhteissa, ja ne myös kuivataan komennosta. Mikrohuukoisista metallioksidoista saadaan maksimaalinen hyöty soveltamalla niitä selitettyyn anturirakenteeseen ilman, että niitä tarvitsee peittää osittain metallielektrodilla.

20 Keksinnön mukaisen hygrometrin edulliset suoritusmuodot ilmenevät oheisista epäitsenäisistä patenttivaatimuksista 2 - 20.

25 Kuvio 1 on keksinnön periaatteiden mukaisesti valmistetulle kosteusanturille tarkoitetun vakiolämpötilan takaisinkytketyn säädön ensisijaisen sovellutusmuodon yksinkertaistettu piirikaavio.

30 Kuvio 1a kuvaa kuvion 1 kaaviosta osan, jossa on esitetty rakenne vaihtoehtoisen vakion toimintalämpötilan valitsemiseksi kosteusanturille;

35 Kuvio 2 on perspektiivikuva keksinnön mukaisesti valmistetun kosteusanturin ensisijaisesta sovellutusmuodosta;

 Kuvio 3 on kuviossa 2 kuvatun kosteusanturin perspektiivikuva taustapuolelta;

 Kuvio 4 on kuvioiden 2 ja 3 kosteusanturin poikkileikkausprojektio;

Kuvio 5 on keksinnön periaatteiden mukaisesti valmistetun kolminapaisen kosteusanturin osana käytetyn pietsosähköisen kiteen värähtelyä ohjaavan kideoskillaattori-piirin yksinkertaistettu piirikaavio;

5 Kuvio 6 on kuvion 4 kosteusanturin kanssa samanlaisen kosteusanturin toisen sovellutusmuodon poikkileikkausprojektiio;

10 kuvio 7 on kuvion 4 kosteusanturin kanssa samanlaisen kosteusanturin vielä erään sovellutusmuodon poikkileikkauskuva;

Kuvio 8 on kuvion 2 kosteusanturin vielä erään sovellutusmuodon perspektiivikuva; ja

15 Kuvio 9 on kuviossa 8 kuvatun nelinapaisen kosteusanturin osana käytetyn pietsosähköisen kiteen värähtelyä ohjaavan kideoskillaattori-piirin erityisen sovellutusmuodon yksinkertaistettu piirikaavio.

Keksinnön eräs tärkeä ominaispiirre on, että kosteusilmaisimen anturielementtiä käytetään automaattisesti säädettyssä vakiossa lämpötilassa, jolloin saadaan toistettavasti sama herkkyys vesihöyrylle, ja itse anturielementti voidaan helposti puhdistaa kosteudesta komennolla luopumatta reagoinnin nopeudesta. Keksinnön ensisijainen sovellutusmuoto on esitetty kuviossa 1, jossa on kuvattu vakiolämpötilaisena toimiva mikrovaakaan perustuva sorptiohygrometri. Mikrovaakamekanismeissa 10 käytetään pietsosähköistä pohjalevyä 11, jonka molemmin puolin ovat johdinkerrokset 12 ja 15. Johdinkerroksena 12 on resistanssina toimiva johdinkuvio, jossa on kaksi liitäntäaluetta 13a ja 13b sähköisiä kytkentöjä varten. Kerrostettu johdinpinoite 12, esimerkiksi platina, on metallia, jolla on korkea resistanssin lämpötilakerroin, niin että sama vastus 12 voi toimia kuumennuselementtinä ja samanaikaisesti ilmaista omaa resistanssiaan toimiessaan takaisinkytkennällä säädetyn Wheatstonen sillan 12, 21, 22, 23 sähköisessä piirissä, jossa differentiaalivahvistinta 24 käytetään

20
25
30
35

sulkemaan takaisinkytkentäsilmukka ja tuottamaan sillalle ohjaussignaali. Resisttiivinen johdinkuvio 12 päällystetään ohuella alumiinimetallikerroksella, joka anodisoidaan alumiinimetallikerroksen muuttamiseksi ohueksi mikrohuokoiseksi alumiinioksidipinnoitteeksi 16 (kuvio 2), joka kykenee adsorboimaan vesihöyrymolekyylejä. Yleensäkin kiinteät pinnat ja metallioksidit pyrkivät adsorboimaan kaasuja pienentääkseen pintaenergiaansa. Juuri alumiinioksidipinnoite 16 reagoi ympäristön kosteuden tai ilman vesihöyrypitoisuuden muutoksiin. Alumiinioksidia käyttävät sorptiohygrometrit ovat tunnettuja niille ominaisesta nopeasta reagoinnista, joka johtuu alumiinioksidipinnoitteen ohuudesta yhdistettynä hyvään adsorbointitehokkuuteen. Noin $7,7 \times 10^{10}$ halkaisijaltaan 100...300 ångströmin huokosta 15 neliösenttimetriä kohti tuottaa alumiinioksidipinnoitteen 16 neliösenttimetriä kohti jopa 0,2 neliömetriä tehollista adsorbointipintaa. Kosteuden mittausta suoritetaan kirjaimellisesti punnitsemalla se vesihöyryn määrä, joka on sorboitunut johtimen 12 pinnalla olevaan alumiinioksidikerrokseen 16. Kun sorboitunut kosteus lisääntyy, kiteen 11 pinnalle kertyy lisää massaa, ja sen radiotaajuisen (RF) värähtelyn taajuus pienenee saaden siten aikaan kosteuden mittauksen oskillaattorin 5 annossa 28. Alumiinioksidia käyttävät sorptiohygrometrit reagoivat veden höyrynpaineeseen hyvin laajalla höyrynpaineen alueella. Yleensä sorption määrä on suoraan verrannollinen vesihöyryn osapaineeseen ja kääntäen verrannollinen absoluuttiseen lämpötilaan. Veden voimakas affiniteetti alumiinioksidin suhteen tekee näistä laitteista erittäin selektiivisiä veden hyväksi. Ne eivät reagoi useimpiin muihin yleisiin kaasuihin eivätkä moniin orgaanisiin kaasuihin ja nesteisiin. Pak- 25 sulla, yli 1 mikrometrin alumiinioksidikerroksella hallitsee suhteellista kosteutta osoittava ominaiskäyrä, kun taas ohuella, alle 0,3 mikrometrin alumiinioksidikerroksella hallitsee absoluuttista kosteutta osoittava ominais- 35 käyrä.

Platina on suositeltava materiaali johdinkerrokseksi 12 stabiiliutensa ja sähköisten ominaisuuksiensa vuoksi, ja koska se ei ole altis oksidin muodostumiselle. Johdinkerrokseen 12 voidaan käyttää myös nikkeliä, vaikka ylimmät mahdolliset prosessointilämpötilat ovat nikkeli-
5 olennaisesti alhaisempia kuin platinalle, jotta vältettäisiin nikkelin Curien piste 385°C , jonka yläpuolella nikkeli on altis oksidoitumiselle. Koska anturirakenteessa käytetään hyväksi alumiinioksidikerrosta 16, muiden raken-
10 teessa käytettyjen metallien satunnainen oksidoituminen voi huonontaa hygrometrin toimintaa. Prosessointimenetelmät sekä platinalle että nikkeli-
15 käytetään resistiivisenä johtimena 12, nikkelin tyhjö-
rystyksellä ja alumiinimetallikerroksen 16 joko sähkökemiallisella kasvattamisella tai tyhjö-
rystyksellä voidaan välttää korkeat prosessointilämpötilat.

Johdinkerros 15 (kuvio 3) kidepohjalevyn 11 vastakkaisella puolella voidaan myös valmistaa platinasta, ja sitä käytetään kondensaattorilevynä tai kideoskillaat-
20 anturielementin 10 RF-elektrodina. Radiotaajuuselektrodi 15 on kytketty oskillaat-
toripiiriin 5 johtimella 17. Kidepohjalevy 11 on kondensaattorin eriste. Kun sorboitunutta
25 vesihöyryä ilmaistaan vakio-
lämpötilassa kiteen lämmitetyn pinnan paikallisessa ympäristössä ja kastepistelämpötilan yläpuolella, saavutetaan toistettavat ja yksikäsitteiset
toimintaolosuhteet, niin että voidaan tehdä käyttökelpoi-
sia kosteusmittauksia käyttäen yhtä kideoskillaat-
30 toria. Säädettyssä lämpötilassa toimivan kideoskillaat-
torin taajuuden vaeltaminen on olemattoman vähäistä verrattuna ve-
sihöyryn sorptiosta oksidikerrokseen aiheutuviin taajuuden siirtymiin. Ajoittain tai silloin, kun anturi jostain
syyistä on kastunut, aktiivinen alumiinioksidikerros 16
35 voidaan desorboida tai kuivata kohottamalla resistiivisen

johdinkuvion 12 lämpötila veden kiehumispisteen yläpuolelle. Adsorboivan kerroksen 16 vakion toimintalämpötilan kohottaminen korkeimman odotettavissa olevan kastepistelämpötilan yläpuolelle, niin että kerros ei koskaan tule veden kyllästämäksi, parantaa hygrometrin reagointinopeutta. Resistiivisen johdinkerroksen 12 ensisijainen tehtävä on lämmittää alumiinioksidikerrosta 16, jonka kanssa se on äärimmäisen läheisessä kosketuksessa, ja johtimen 12 lämmittämisen toissijainen tehtävä on pitää kideoskillaattorin pohjalevy 11 samassa vakiolämpötilassa tai hyvin kapean lämpötila-alueen sisällä. Kiteen 11 toinen puoli, jolla elektrodi 15 on, on hiukan alhaisemmassa lämpötilassa, koska lämmön johtumisessa johdinkerroksesta 12 kiteen eristeen 11 läpi vaikuttaa terminen hitaus, sekä myös paikallisista ilmavirtauksista johtuvien lämpöhäviöiden takia. Tuloksena oleva kosteusanturielementti on kolminapainen sähköinen komponentti, jonka sisältämällä piirielementeillä, oksidipinnoitteisella vastuksella ja kondensaattorilla, jossa on pietsosähköinen eriste, toinen napa ja pohjalevy ovat yhteiset. Anturielementti toimii vakiolämpötilaisena mikrovaakaan perustavana sorptiohygrometrinä, kun vastuselementti on yhtenä haarana vahvistimella varustetulla takaisinkytkennällä ohjatussa Wheatstonen sillassa, ja kondensaattorielementin värähtelyä ohjataan radio-
25 taajuisella oskillaattoriipiirilaitteella, jolloin saadaan aikaan sellaisen mittaussignaalin tuottava laite, joka edustaa kosteusmittauksen tulosta osoittaen sen taajuuden siirtymänä.

Vaikka ensisijainen sovellutusmuoto kuvaa alumiinioksidikerrosta, joka peittää lämmitysvastuksena toimivaa elektrodia, on huomattava, että tällaisen hygrometrin anturin herkkyyttä voidaan lisätä levittämällä sorptiivinen pinnoite kidepohjalevyn molemmille puolille peittämään sekä resistiivisen johtimen 12 että RF-elektrodin 15 alu-
35 eet. Rajatapauksena kidepohjalevy 11 johtimien 12 ja 15

kera voidaan peittää kokonaan alumiinimetallilla, joka sitten anodisoidaan alumiinioksidin muodostamiseksi anturin 10 koko pinnalle, vaikka tämä edellyttää äärimmäistä huolellisuutta sen varmistamiseksi, että kaikki alumiini
5 muuttuu oksidiksi. Silloin, kun anturielementti on tarkoitettu korkean lämpötilan sovellutuksiin, on suositeltavaa kerrostaa alumiinipinnoite ainoastaan platinajohdinalueiden 12 ja 15 päälle, koska on välttämätöntä oksidoida jokin alumiinimetallikerroksen hiukkanen alumiinioksidiksi
10 si lämpötilastabiiliuden varmistamiseksi.

Viitaten jälleen kuvioon 1, resistiivinen johdin 12 ja sarjassa oleva tehovastus 21 muodostavat suurivirtaiset tai ohjatut haarat nelihaaraisessa Wheatstonen sillassa, jonka täydentävät vastukset 22 ja 23, jotka muodostavat
15 sillan vertailuhaarat. Koska resistiivinen johdin 12 on platinavastus, jolla on suuri positiivinen resistanssin lämpötilakerroin, virran kulku saa sen lämpenemään samalla, kun sen resistanssi kasvaa. Vastuksilla 21, 22 ja 23 on kaikilla lähellä nollaa oleva tai pieni resistanssin
20 lämpötilakerroin, ja virrasta johtuva lämpeneminen aiheuttaa mitättömän pienen resistanssin muutoksen. Kun vastusten 23 ja 22 sekä 21 ja 12 resistanssien suhteet ovat samat, pisteiden 25 ja 26 välille ei kehity erosignaalia, eikä differentiaalivahvistin 24, jonka otot on kytketty
25 sillan yli pisteisiin 25 ja 26, syötä virtaa sillan yläpisteeseen 27. Sillan paluuvirta on kytketty pisteen 20 kautta maahan 19. Vahvistimen 24 annossa täytyy olla pieni erojännite, kun piiri aluksi kytketään toimimaan ja resistiivinen johdin 12 on ympäristön lämpötilassa, niin että
30 sillan läpi kulkee erojännitteen seurauksena pieni virta, joka riittää kehittämään pienen erosignaalin pisteiden 25 ja 26 välille ja mahdollistaa piirin omatoimisen käynnistämisen. Vastuksen 22 resistanssiarvo on valittu tuottamaan sillan tasapaino halutussa, resistiivisen johtimen 12
35 kohotetussa vakiossa toimintalämpötilassa, ja takaisinkyt-

5 kentäsilmukan toiminta säätää automaattisesti sillan läpi kulkevaa virtaa, kunnes resistiivisen johtimen 12 resistanssi saavuttaa resistanssiarvon, joka tasapainottaa sillan. Edellä kuvattua toimintatapaa on kuvattu vakion lämpötilan (vakion resistanssin) toimintatapana, joka tunnetaan hyvin ilmavirran nopeuden termisen mittauksen alalla.

10 Vakiolämpötilaisena toimivan ilmavirran nopeuden mittausspiirin yksityiskohtainen tarkastelu on löydettävissä kirjan A. E. Perry, "Hot Wire Anemometry", 1982, Oxford University Press, Oxford, England, ISBN 0-19-856327-2, sivuilta 59-64, jonka kirjan on Yhdysvalloissa julkaissut Oxford University Press, New York, N.Y.

15 Tyypillisessä siltapiirissä johtimen 12 resistanssi voi olla esimerkiksi 5 ohmia huoneen lämpötilassa 18 °C:ssa. Tehovastus 21 voi olla arvoltaan 2 ohmia, ja sillä on alhainen resistanssin lämpötilakerroin sekä sopiva fyysinen koko, niin että kuumeneminen ei aiheuta huomattavaa muutosta sen nimellisessä resistanssiarvossa ja samalla vaihtelua syötetyn virran tasossa, koska resistiivistä johdinta 12 kuumentava virta kulkee kokonaan sen kautta. 20 Nimellisen resistanssin lämpötilakertoimen ollessa 3 800 ppm/°C resistiivisen johtimen 12 resistanssiarvo 50 °C lämpötilassa tulee olemaan noin 5,608 ohmia. Jos vastuksen 23 arvo on 499 ohmia, sillan tasapainottamiseksi tarvittava vastuksen 22 arvo on 1399,2 ohmia resistiivisen johtimen kuumentessa itsensä 50 °C lämpötilaan. Veden kiehumispiste, 100 °C, voidaan saavuttaa vastuksen 22 arvolla 1636,2 ohmia.

30 Kuvio 1a esittää osan kuvion 1 Wheatstonen sillasta, jossa vastuksen 22 kanssa sarjaan on kytketty sen kanssa samaan sillan haaraan vastus 29 yhdessä kytkimen 30 kanssa, joka on kytketty vastuksen 29 yli, ja joka on kuviossa suljettuna oikosulkien vastuksen 29. Kun kytkin 30 on suljettuna, kuvioden 1 ja 1a piirit ovat sähköisesti 35 identtiset. Jos vastus 29 on 237 ohmia, kytkimen 30 avaa-

minen kasvattaa vastusten 22 ja 29 kokonaisresistanssin 1636,2 ohmiin ja saa resistiivisen johtimen 12 säädetyn lämpötilan kohoamaan 100 °C:seen. 355,3 ohmin reistanssi-arvo vastukselle 29 nostaa resistiivisen johtimen 12 säädetyn lämpötilan 125 °C:seen, joka on kyllin korkea desorboimaan alumiinioksidikerroksen 16 tehokkaasti kiehumalla pois kaiken sorboituneen vesihöyryn. Anturi 10 palaa jälleen normaaliin sorptiohygrometritoitintaan, kun kytkin 30 suljetaan. Kytkin 30 voi olla pienoisivipukytkin, etäkäytettävä puolijohdekytkin, digitaalinen kytkin tai mikä tahansa vastaava paikallisesti käytettävä tai etäkäytettävä kytkin. Kytkentämahdollisuus yhdessä valittavan vertailuvastuksen kanssa tuottaa menetelmän, jolla anturin 10 sorptio/desorptiotoimintoja voidaan käyttää satunnaisesti ja jaksottomasti tai ohjelmoituina jaksoittaisiksi. Vaikka vertailuvastuksen valinta on esitetty sarjavastuksen kytkemisellä toteutettuna, rinnan kytkettyjen vastusten yhdistelmät sekä myös monivalintaiset yhdistelmät yhdessä kytkimellä tapahtuvan valinnan kanssa ovat yhtä tehokkaita.

Kuvio 2 on keksinnön periaatteiden mukaan konstruoidun kosteusanturin 10 ensisijainen sovellutusmuodon perspektiivikuva. Se on kuvattu sähköisesti kuviossa 1. Anturi 10 on valmistettu pohjalevylle 11, joka on pietsosähköinen eriste, esimerkiksi kvartsikide, joka on tarkoitettu toimimaan RF-oskillaattorina taajusalueella 1...20 MHz. Tyypillisen kideviipaleen halkaisija on noin senttimetri ja paksuus 0,016 senttimetriä, ja valmiiksi tehty ja pinnoitettu kide värähtelee sähköiseen oskillaattoriin kytkettynä luontaisella noin 9 MHz resonanssitaajuu-
della. 10 MHz perustaajuuudella värähtelevää, AT-suunnassa leikattua standardikvartsikideviipaletta käytetään yleisesti, koska sillä on laaja lämpötila-alue, jolla taajuus on melkein vakio, ja pintaliikettä oikein leikatussa kiteessä ei ole. Sellaisia pietsosähköisiä materiaaleja kuin

turmaliini, Rochellen suolat, bariumtitanaatti, ammoniumdivetyfosfaatti ym. voidaan myös käyttää, vaikka kvartsi-kideviipaleet ovat laajimmin saatavilla kohtuulliseen hintaan. Kvartsikideviipaleita toimittavat Bliley Electric
5 Co., CTS Corp., Valpey-Fisher Corp. ja monet muut lähteet.

Resistiivinen johdinkuvio 12 tehdään serpentiini- tai siksak-kuviona sen resistanssin lisäämiseksi ja tasaisen peiton ja resistanssin jakauman aikaansaamiseksi vastuksen koko pituudella. Vaihtoehtoisesti johdinkerros voidaan levittää pohjalevyn 11 koko pinnalle ja sitten leikata
10 osa pois tai virittää pitkän ja tasaisen vastuksen muodostamiseksi. Vastuksen leikkaus tai muotoilu voidaan suorittaa laserviritystekniikalla tai kaasukäyttöisellä hiekkapuhallusvirittimellä. Platinametalli on suositeltava
15 materiaali resistiiviseksi johtimeksi 12, ja se voidaan levittää helposti käyttämällä "maalaukseen ja poltto"- tai "maalaukseen ja uunitus"-menetelmiä. Platinapasta kirjaimellisesti painetaan pohjalevylle 11 käyttäen paksukalvopiiriteollisuuden menetelmiä. Esimerkkejä platinapastoista,
20 joista kauppatavarana käytetään myös nimitystä platinaväri, ovat Engelhard Industries'in tyyppit #6082 tai #6926, joita käytetään ikäänkuin ne olisivat painokoneen väriä. Vastuskuvio voidaan levittää silkkipainamalla tai telasiirrolla, joka siirtää painetun pastan lasia tai kiillotettua metallia olevalta levyltä kidepohjalevylle
25 pehmeän kumitelan avulla. Sinkkipainon käyttö on edullista, koska sillä tavalla saadaan helposti levitettyksi tasaisia kalvoja ja tuotetuksi uudelleen määritelty vastuskuvio yksiköstä toiseen edullisesti. Kuivauksen jälkeen painettu pohjalevy 11 poltetaan
30 ilmassa 800...850 °C lämpötilassa käyttäen sähköuunia tai kuljettimella varustettua uunia. Pelkistäviä kaasuja on vältettävä.

Sen jälkeen kun resistiivinen platinajohdin 12 on poltettu, ja viritetty, jos se on tarpeen, alumiinimetal-
35 likerros 16 levitetään resistiivisen johtimen 12 päälle

jättäen alueet 14a ja 14b vapaiksi alumiinimetallista, niin että johtimet 13a ja 13b voidaan myöhemmin liittää. Alumiinikerros voidaan levittää käyttäen alumiiniväriä, elektrolyyttistä kasvatusta tai tyhjöhöyrystystä. Alumiinivärin käyttö on halvinta eikä vaadi eksoottisia tai mutkikkaita laitteita valmistuksessa. Esimerkkejä alumiiniväreistä ovat Engelhard Industries'in tyytit #A-3113 ja #A-3484. Alumiinivärit poltetaan myös ilmassa ja alueelta 550...675 °C olevissa lämpötiloissa. Tietyissä tapauksissa voi olla tarpeen käyttää jopa 900 °C polttolämpötiloja värille #A-3113, jos pyritään saamaan aikaan molekyylisidos itse pohjalevyyn. Matalampia lämpötiloja voidaan käyttää silloin, kun alumiini sijoitetaan suoraan platinametallijohtimen päälle, jolla on hiukan matta pinta polton jälkeen. Korkeampaa lämpötilaa suositellaan, jos kiteen koko pinta on tarkoitus peittää alumiinimetallilla.

Polton jälkeen alumiinia oleva pintakerros 16 oksidoidaan mikrohuokoisen alumiinioksidikerroksen muodostamiseksi, joka myös on osoitettu viitenumerolla 16 kuviossa 2, koska materiaali muuttuu kokonaan. Tyypillisesti oksidi muodostetaan anodisointiprosessissa, jossa anturi on ripustettu kuumennettuun rikkihappoliuokseen, ja vaihtovirta johdetaan liuoksen läpi anturin kautta, johon sähköinen kytkentä on tehty puristusliittimellä resistiivisen johtimen 12 alueeseen 14a tai 14b, joita ei ole peitetty alumiinilla. Happoliuos voi sisältää 20... 70 % tilavuudesta rikkihappoa, ja se lämmitetään ulkoisesti sopivalla kuumennuslaitteella noin 21...38 °C lämpötilaan. 54...270 ampeerin vaihtovirta anodisoitavan pinnan neliömetriä kohti kulkee liuoksen läpi, kun anturi on siihen ripustettuna. Aika vaihtelee välillä 10...80 minuuttia riippuen happon osuudesta liuoksessa, liuoksen lämpötilasta, virrantiheydestä ja halutusta anodisoinnin syvyydestä. Tekniikan tason patenteissa ja instrumentointijulkaisuissa on kerrottu, että tyydyttäviä anodisoituja pinnoitteita on saatu

käyttämällä 32,2 °C:ssa pidettyä 50 % rikkihappoliuosta, jonka ominaispaine on 1,4, vaihtovirran anodisoitavan pinnan neliömetriä kohti ollessa 129 ampeeria 25...30 minuuttia kestävän anodisointijakson aikana.

- 5 Anodisoinnin jälkeen voi olla tarpeen stabiloida alumiinioksidipinnoite (Al_2O_3), jotta vältetään kosteuden adsorbointiominaisuuksien muuttuminen ajan ja rasituksen funktiona. Tämä voidaan suorittaa kiehuttamalla anturia 10 tislatussa vedessä 30...45 minuutin ajan, minkä jälkeen
- 10 pinta harjataan, jotta saataisiin poistetuksi jokseenkin irrallinen alumiinioksidijauhekerros, joka on saattanut muodostua kiehuvassa vedessä vanhentamisen aikana. Käsittely jättää jäljelle hydratoidun alumiinioksidin kovan, stabiilin muodon, monohydraatti- tai kiteisen modifikaati-
- 15 on, jota kutsutaan bohemiitiksi (engl.: boehmite) ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

- Kun pohjalevyn 11 molemmat puolet on asianmukaisesti pinnoitettu, johtimet 13a ja 13b liitetään paljaisiin platina-alueisiin 14a ja 14b joko jousen tapaisilla puristimilla, mikrohitsaamalla tai pehmeällä juotoksella, jotta
- 20 saadaan aikaan sähköiset liitännät johtimelle 12. Johtimet 13a ja 13b voivat olla tinattuja kuparia, nikkeliä, pinta-käsiteltyä terästä tai muuta sopivaa materiaalia. Jos käytetään juotetta, on kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, että käytetään platinalle soveltuvaa juotetta silloin, kun johdinkuvio 12 on tehty platinasta, koska tavanomaisen tinalyijyjuotteen käyttö saattaa aiheuttaa viime
- 25 kädessä juotosliitoksen vikaantumisen sen seurauksena, että juote muodostaa platinametallin kanssa epästabiilia amalgaamia.
- 30

- Loppuvanhennusta, joka on analoginen liuos päästön kanssa, voidaan soveltaa valmiiksi tehdylle hygrometrin anturille 10 valmistuksen aikana mukaan tulleiden epäpuhtauksien tai hygroskooppisten materiaalien poistamiseksi,
- 35 alumiinioksidin "hiukkaskoon" stabiloimiseksi ja halkeami-

en vähentämiseksi. Tämä voidaan tehdä uunittamalla anturikokonaisuutta 200...300 °C lämpötilassa 30...90 minuutin ajan.

5 Kuvio 3 on kuviossa 2 kuvatun kosteusanturin 10 taustapuolen perspektiivikuva. Kuviossa nähdään vain yksi RF-elektrodi, joka yksinkertaisena kiekkona peittää suurimman osan kidepohjalevyn 11 pinnasta ja toimii kolminapaisen hygrometrin anturin 10 toisena kondensaattorilevynä. Myös elektrodi 15 voi olla platinametallia, joka levitetään samalla tavalla kuin resistiivisen johdinkuvion 12 valmistuksessa käytetty platina. Yksi johdin, 17, on liitetty alueeseen 18 samalla tavalla kuin johtimet 13a ja 13b on liitetty johtimeen 12. Jotta vältettäisiin pohjalevykiteen 11 pinnan tarpeeton kuormittaminen ylimääräisellä massalla, suositellaan, että kaikki johdinliitokset 14a, 15 14b ja 18 tehdään pohjalevyn 11 ulkoreunalle, missä värähtelyyn liittyvät leikkausjännitykset ovat lievimmät.

Kuvio 4 on kuviossa 2 kuvatun kosteusanturirakenteen 10 poikkileikkausprojektio kohdasta 4-4 ja nuolten suunnasta katsottuna. Pietsosähköinen kidepohjalevy 11 on 20 alustana sen eri puolilla oleville resistiiviselle johtimelle 12 ja RF-elektrodille 15. Alumiinioksidipinnoitteen 16 nähdään peittävän resistiivisen johtimen 12. Tämä poikkileikkauskuva tekee selväksi, että resistiivistä johdinta 25 12 voidaan käyttää myös sanotun kuviossa 1 anturina 10 kuvatun kolminapaisen sähköisen komponentin toisena kondensaattorilevynä.

Kuvio 5 on sellaisen RF-kideoskillaattorin erityinen sovellutusmuoto, jota voidaan käyttää keksinnön mukaisesti ohjaamaan tässä kuvatun tyyppisen perustaaajuudella värähtelevän pietsosähköisen kiteen, joka on hygrometrin anturin 10 osa, värähtelyä. Tässä on kuvattu Collpitts-oskillaattoripiiri, vaikka voitaisiin käyttää monia muita oskillaattoripiirilaitteita, esimerkiksi 35 Pierce-oskillaattoria, Hartley-oskillaattoria ja sen muun-

nelmia. Schmitt-liipaisinoskillaattoria, TTL-oskillaattoria ja muiden takaisinkytkettyjen oskillaattoreiden lukuisia muotoja, joiden toteutuksen alan ammattimiehet hyvin tuntevat. Kuvattu Collpits-oskillaattori on suunniteltu toimimaan perustaaajuudella värähtelevien kiteiden kanssa alueella 1...20 MHz. Tyypillisesti kollektorille tuleva +12 voltin käyttöjännite on kytketty pisteeseen 31 ja radiotaajuudet kytketty maahan ohituskondensaattorilla 32, joka voi olla arvoltaan 0,01 mikrofaradia. Transistori 33 on tyypiltään 2N2222, 2N4124 tai vastaava yleiskäyttöinen piitransistori. Takaisinkytkentää ohjaa kondensaattoreiden 34 ja 35 muodostama jännitteenjakaja, jossa tyypilliset kapasitanssiarvot ovat vastaavasti 82 pikofaradia ja 0,001 mikrofaradia. RF-jännite 1000 ohmin emitterivastuksen 36 yli huolehtii takaisinkytkennän perussignaalista, joka vaaditaan piirin värähtelyn ylläpitämiseksi. Kannan esijännitteen määräävä vastus 37 voi olla 220 000 ohmia. Säädetävän virityskondensaattorin 38 maksimiarvo voi olla 50 pikofaradia, ja se on kytketty johtimella 17 sarjaan anturin 10 RF-elektrodin 15 kanssa. Anturin 10 toinen kondensaattorielektrodi, jonka kytkentä määrittelee resistiivisen johtimen 12 alemman potentiaalin päähän, on kytketty maahan johtimella 13b, ja siten viimeistelty oskillaattoriipiiri. Oskillaattoriipiirin RF-signaalin anto 28 otetaan transistorin 33 emitteriltä 0,001 mikrofaragin kytkentäkondensaattorin 39 kautta. Oskillaattorin antosignaalin taajuuden siirtymät kosteuden vaihdellessa nollasta tai kuivista olosuhteista kyllästymiseen ovat alueella $-10^2 \dots -10^4$ Hz tyypilliselle tässä kuvatulla tavalla konstruoidulle kosteusanturille 10. 1 mikrogramma vesihöyryä 50 °C:ssa voi tuottaa -10...-20 Hz tai paremman signaalin siirtymän. Alhaisemmissa toimintalämpötiloissa herkkyys paranee, kun taas anturin vasteaika pitenee. Esimerkiksi tyypillisellä 15 MHz kiteellä, jossa on halkaisijaltaan 5 mm elektrodit, ennakoitu herkkyys massakuormalle on noin

2 600 Hz mikrogrammaa kohti. Samalla tavoin tyypillisellä
10 MHz kiteellä, jossa on halkaisijaltaan 7 mm elektrodit,
ennakoitu herkkyys massakuormalle on noin 600 Hz mikro-
grammaa kohti. Ilmaisukynnyksen kidemikrovaakatekniikkaa
5 käytettäessä on arvioitu olevan noin 10^{-12} grammaa.

Kuvio 6 kuvaa kosteusanturin 10 toisen, kuvion 4
poikkileikkauskuvassa esitetylle vaihtoehtoisen, sovellu-
tusmuodon, jossa, kuten nähdään, on sorptiivinen alumiini-
oksidikerros 16 anturin 10 molemmilla puolilla peittämässä
10 RF-elektrodia 15 yhtä hyvin kuin resistiivistä johdinta
12. Kosteusanturin 10 molempien puolien peittäminen voi
tehollisesti kaksinkertaistaa vesihöyryä sorboivan alumiini-
oksidipinnoitteen 16 pinnan alan tuottaen siten olennai-
sen parannuksen anturin herkkyyteen kuormittamatta silti
15 liikaa pietsosähköistä kidepohjalevyä 11.

Kuvio 7 on kuviota 4 vastaava poikkileikkauskuva,
joka kuvaa vielä erään kuvion 2 kosteusanturin sovellutus-
muodon, jossa anturi 10 on peitetty kokonaan sorptiivisel-
la pinnoitteella 16a. Pinnoite 16a voi olla alumiinioksi-
dia, hygroskooppista polymeeriä tai sekapolymeeriä, jotain
20 vetistyvää suolaa tai vastaavaa kosteudelle herkkää mate-
riaalia. Yleisesti ottaen alumiinioksidi on suositeltava,
tehokas ja pitkäikäinen, anturipinnoite, mutta kun välttä-
mättömänä tekijänä on mahdollisimman alhainen hinta, kas-
tamalla levitettävät hygroskooppiset pinnoitemateriaalit
tulevat ratkaisuina kiinnostaviksi. Monet kastamalla val-
mistetut pinnoitteet ovat käytössä ongelmallisia, kun ilma
ympärillä tulee kosteuden kyllästämäksi tai pinnoite kas-
tuu, ja niissä esiintyy myös usein epästabiiliutta ja hys-
tereesiä. Keksinnön kuvaama hygrometrin vakiolämpötilainen
30 toiminta minimoi näiden monien puutteiden vaikutukset, ja
tietyissä sovellutuksissa, esimerkiksi kertakäyttöisten,
halpojen, ilmapallolla lähetettävien sondien tapauksessa,
desorptio/sorptiojakso juuri ennen käyttöä voi edelleen
35 parantaa hygrometrin toimintaa. Tyypillisiä hygroskooppi-

sia polymeerejä ovat hydroksyylietyyliselluloosa, karboksimetyyliselluloosa ja selluloosaesterit. Esimerkkejä hygroskooppisista sekapolymeereistä ovat muun muassa vinyyliekarbonaatti ja vinyyliasetaatti. Nämä materiaalit voivat olla liuotettuina johonkin liuottimeen, ja ne voidaan levittää yksinkertaisesti kastamalla anturi 10 nesteenä olevaan materiaaliin, kuivaamalla se ilmassa tai uunissa ja seuraavaksi hydrolysoimalla pinnoite kastamalla pinnoitettu anturi 10 happamaan tai emäksiseen kylpyyn tietyksi ajaksi. Sellaisten materiaalien ja käsittelymenetelmien käytöstä antavat tietoa US-patentit 3 350 941, 3 582 728 ja 3 802 268, jotka kuvaavat polymeeri- ja sekapolymeerikalvojen käyttöä kapasitiivisissa kosteusantureissa, sekä US-patentti 5 562 725, joka kuvaa pietsosähköisiin kosteusantureihin käytettyjä kosteudelle herkkiä polymeerejä ja sekapolymeerejä.

Arnold Wexlerin julkaisu "Electric Hygrometers", 3.9.1957, National Bureau of Standards Circular 586, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., mainitsee edelleen käyttökelpoisia sorptiivisia pinnoitteita, mukaan lukien metallioksidikalvoja, suolakalvoja ja polymeerihartseja, joita voidaan soveltaa anturiin 10 käytettäväksi kosteusherkkänä pinnoitteena 16a.

Kuvio 8 on kuvion 2 kosteusanturin 10 vielä erään sovellutusmuodon perspektiivikuva, jossa on esitetty lisättynä toinen RF-elektrodi 40, joka on lomitettu resistiivisen johdinkuvion 12 kanssa. Johdin 42 on liitetty RF-elektrodiin 40 pisteessä 41. Toisen RF-elektrodin 40 lisääminen helpottaa kuvion 1 vakiolämpötilan säätöpiirin täydellistä sähköistä erottamista RF-oskillaattoripiiristä 5. Piirien erottaminen toisistaan voi olla tavoitteena, kun valittu oskillaattoripiirin toteutus vaatii, että RF-elektrodit 15 ja 40 toimivat maapotentiaalista erotettuina. Tässä sovellutusmuodossa kosteusanturista 10 tulee nyt nelinapainen sähköinen komponentti, jonka kaksi napaa on

kytketty sen kondensaattorielementtiin ja kaksi napaa sen vastuselementtiin. Sorptiivinen pinnoite 16 on sekä resistiivisellä johdinkuviolla että RF-elektrodilla 40. Anturin 10 taustapuoli voi olla samanlainen kuin kuviossa 3 kuvattu.

5 Kuvio 9 on JFET Pierce-kideoskillaaattoripiirin, joka suunnittelun helppouden ja osien lukumäärän vähäisyyden lähtökohdista lukeutuu vähiten mutkikkaiden joukkoon, piirikaavio. On huomattava, että RF-elektrodit 15 ja 40
10 ovat molemmat RF-potentiaalissa, ja siksi anturin 10 kondensaattoriosia 15 ja 40 pitää olla erotettu anturin resistiivisen johtimen osasta 12, kuten kuviossa 8 kuvatussa anturin 10 nelinapaisessa konfiguraatiossa on esitetty. JFET-kideoskillaaattori sallii laajan kiteiden taajuusalueen
15 käytön ilman piirin sovittamista. Koska JFET:in hila ei kuormita kidettä, hyvä Q-arvo säilyy varmistuen siten hyvän taajuuden stabiiliuden. JFET-transistori 43 voi olla yleiskäyttöön tarkoitettu N-kanava JFET tyyppiä 2N5485, joka sopii käytettäväksi RF-vahvistimissa. Alueella 5...15
20 volttia oleva positiivinen käyttöjännite pisteessä 44 on kytketty RF-kuristimen 45 kautta JFET:in 43 nielulle, ja lähde on kytketty maahan. JFET:in hila on kytketty 10 megahmin vastuksen 47 ja anturin 10 elektrodiin 40 kytketyn johtimen 42 liitokseen. Anturin 10 elektrodi 15 on kytketty
25 johtimella 17 0,001 mikrofaradin kondensaattorille 46, joka on kytketty myös JFET:ille 43, joka tuottaa RF-taajuaisen antosignaalin pisteessä 28. Anturin 10 liitännät 17 ja 42 voidaan kääntää vaikuttamatta toimintaan. Anturin 10 liitännät 13a ja 13b resistiiviseltä johdinkuviolta 12 on
30 kytketty kuvion 1 takaisinkytkettyyn vakiolämpötilan säätöpiiriin, joka on kuvattu edellä.

Keksinnön vielä eräästä sovellutusmuodosta esitetään esimerkkinä lämpötilakertoimeltaan nollasta poikkeavan resistiivisen johtimen soveltaminen pohjalevyille valmistettujen hygrometrin antureiden muihin tyyppeihin ja
35 yleensä pohjalevyille valmistettuihin antureihin, jotka alalla hyvin tunnetaan, jolloin anturi toimii takaisinkyt-

kennällä säädetyssä vakiossa lämpötilassa, kuten tässä on kuvattu. Sanottu resistiivinen johdin voidaan valmistaa suoraan pohjalevylle, jos pohjalevy on sähköisesti eristävää materiaalia, tai sähköisesti johtavan pohjalevyn tapauksessa sanottu resistiivinen johdin voidaan valmistaa eristävän sulkukerroksen päälle. Anturin rakenteesta riippuen eristävä kerros tai sulkukerros voidaan myös valmistaa resistiivisen johtimen päälle ja seuraavaksi valmistettava anturirakenne puolestaan sanottujen kerrosten päälle. Tyypilliset eristävät sulkumateriaalit löytyvät eristävien lasitteiden ja suojapinnoitteiden joukosta, joita käytetään sekä puolijohdeteollisuudessa että paksu- ja ohutkalvopiiriteollisuudessa. Esimerkkejä laajasta valikoimasta tällaisia helposti saatavissa olevia materiaaleja ovat Engelhard Industries'in tyypit #A-3820, #A-3025 ja #HD2008. Piimonoksidi, piidioksidi ja kvartsi muodostavat myös käyttökelpoisen perheen eristäviä materiaaleja, joita voidaan kerrostaa tyhjötekniikalla. Alan julkaisuisa tunnetaan eri anturityyppejä, joissa keksinnön menetelmien soveltamisesta saattaa olla etua. US-patentti 4 143 177 esittää esimerkin kapasitiivista tyyppiä olevista kosteusantureista, joissa käytetään hyväksi huokoista metallioksidia. Sanottuja antureita voidaan yksinkertaistaa ja samalla parantaa niiden toimintaa sijoittamalla niihin erillisen kuumennusvastuksen ja lämpötilailmaisimen toimivan vastuksen ja puolijohdeanturin tilalle säädetyssä vakiolämpötilassa toimiva resistiivinen johdin. US-patentin 3 523 244 tunnetuksi tekemän, kapasitiivista tyyppiä olevan alumiinioksidikosteusanturin samoin kuin patentin US 4 164 868 tunnetuksi tekemien kosteusantureiden toimintaa voidaan parantaa soveltamalla tämän keksinnön periaatteita säädetyssä lämpötilaisena toiminnan suhteen. Vielä eräs esimerkki sellaisesta anturien luokasta, jossa tämän keksinnön periaatteista ja niiden soveltamisesta voi olla hyötyä, ovat SAW (akustinen pinta-aalto)-komponentit, joita käytetään kaasuja ja kemikaaleja ilmaisevien kalvojen ja pinnoitteiden pohjalevyinä.

Patenttivaatimukset:

1. Hygrometri, t u n n e t t u siitä, että se käsittää:

5 pietsosähköisen pohjalevyn (11), joka sisältää siihen kiinnitetyn sorptiivisen materiaalin (16);

kuumentimen (12), joka on sovitettu pitämään pohjalevyn vakiolämpötilassa;

10 elektrodit (12, 15), jotka on sijoitettu pohjalevyn vastakkaisille puolille; ja

elektrodeihin (12, 15) kytketyn oskillaattoripiirin (5), joka on sovitettu saattamaan pohjalevyn (11) värähtelemään ja kehittämään signaalin (28), joka on verrannollinen värähtelyn taajuuteen, värähtelyn taajuuden ollessa suhteessa sorboituneen veden määrään.

15 2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen hygrometri, t u n n e t t u siitä, että kuumennin (12) käsittää lämpötilakerroinresistiivisen johtimen (12), joka on kiinnitetty pohjalevyn toiselle pinnalle, ja takaisinkytkennällä ohjatun sähköisen piirin (5), joka on sovitettu pitämään resistiivisen johtimen resistanssin vakiona.

3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen hygrometri, t u n n e t t u siitä, että sorptiivinen materiaali (16) on resistiivisen johtimen (12) päällä.

25 4. Patenttivaatimuksen 3 mukainen hygrometri, t u n n e t t u siitä, että resistiivinen johdin (12) muodostaa pohjalevylle serpentiinikuvion.

5. Patenttivaatimusten 2, 3 tai 4 mukainen hygrometri, t u n n e t t u siitä, että se käsittää lisäksi sorptiivista materiaalia (16) pohjalevyn toisella puolella.

30 6. Patenttivaatimuksen 1, 2, 3, 4 tai 5 mukainen hygrometri, t u n n e t t u siitä, että sorptiivinen materiaali (16) ympäröi pohjalevyä (11) ja elektrodeja (12, 35 15).

7. Patenttivaatimuksen 2 mukainen hygrometri,
t u n n e t t u siitä, että resistiivinen johdin (12) on
toinen pohjalevyn vastakkaisilla puolilla olevista elek-
trodeista.

5 8. Patenttivaatimuksen 2 mukainen hygrometri,
t u n n e t t u siitä, että resistiivinen johdin (12) ja
elektrodit ovat erilliset ja keskenään lomitetut pohja-
levyn (11) toisella pinnalla.

10 9. Patenttivaatimuksen 2 mukainen hygrometri,
t u n n e t t u siitä, että resistiivinen johdin (12) on
Wheatstonen sillan yksi haara, ja että se käsittää diffe-
rentiaalivahvistimen (24), joka syöttää virtaa resistiivi-
sen johtimen (12) läpi sen resistanssin ja lämpötilan pi-
tämiseksi vakioina.

15 10. Patenttivaatimuksen 9 mukainen hygrometri,
t u n n e t t u siitä, että Wheatstonen sillan yksi haa-
ra käsittää kytkentälaitteen (30) kyseisen haaran resis-
tanssin muuttamiseksi, jotta resistiivisen johtimen (12)
vakioresistanssia ja vakiolämpötilaa voidaan muuttaa.

20 11. Patenttivaatimuksen 1 mukainen hygrometri,
t u n n e t t u siitä, että oskillaattori (5) on
Colpitts-oskillaattori.

25 12. Patenttivaatimuksen 1 mukainen hygrometri,
t u n n e t t u siitä, että oskillaattori (5) on JFET
Pierce-kideoskillaattori.

13. Patenttivaatimuksen 1 mukainen hygrometri,
t u n n e t t u siitä, että pohjalevy (11) on kvartsia.

30 14. Patenttivaatimuksen 1 mukainen hygrometri,
t u n n e t t u siitä, että pohjalevy (11) on metallia ja
käsittää johtamattoman sulun metallipohjalevyn ja elektro-
dien välissä.

15. Patenttivaatimuksen 1 mukainen hygrometri,
t u n n e t t u siitä, että sorptiivinen materiaali (16)
on alumiinioksidia.

16. Patenttivaatimuksen 1 mukainen hygrometri,
t u n n e t t u siitä, että elektrodit (12, 15) ovat pla-
tinaa.

5 17. Patenttivaatimuksen 1 mukainen hygrometri,
t u n n e t t u siitä, että sorptiivinen materiaali (16)
on hygroskooppista polymeeriä.

18. Patenttivaatimuksen 1 mukainen hygrometri,
t u n n e t t u siitä, että sorptiivinen materiaali (16)
on hygroskooppista sekapolymeeriä.

10 19. Patenttivaatimuksen 1 mukainen hygrometri,
t u n n e t t u siitä, että sorptiivinen materiaali (16)
on vetistyvää suolaa.

20. Patenttivaatimuksen 1 mukainen hygrometri,
t u n n e t t u siitä,
15 että pohjalevy (11) on kvartssia,
että kvartsipohjalevyn (11) ensimmäiselle puolella
oleva elektrodi muodostaa lämpötilakerroinresistiivisen
johtimen (12),

20 että resistiivisen johtimen (12) päälle on järjes-
tetty alumiinioksidipinnoite (16),

että takaisinkytkennällä ohjattu sähköinen piiri on
sovitettu pitämään resistiivisen johtimen (12) resistans-
sin vakiona, ja

25 että värähtelyn taajuus on suhteessa alumiinioksi-
dimateriaaliin sorboituneen veden määrään.

Patentkrav:

1. Hygrometer, k ä n n e t e c k n a d av, att den omfattar:

5 en pietzoelektriskt basskiva (11) som inkluderar ett till denna fäst sorptivt material (16);

en värmare (12) som anordnats att hålla basskivan vid en konstant temperatur;

10 elektroder (12, 15) som anordnats på basskivans motsatta sidor;

en till elektroderna (12, 15) ansluten oskillator-krets (5) som anordnats att försätta basskivan (11) att oskillera och till att alstra en signal (28) som är proportionell till oskilleringsfrekvensen, varvid oskilleringsfrekvensen står i förhållande till den sorberade
15 mängden vatten.

2. Hygrometer enligt patentkravet 1, k ä n n e - t e c k n a d av, att värmaren (12) omfattar en temperaturkoefficientresistiv ledare (12) som är fäst på basskivans ena yta, och en med återkoppling styrd elektrisk
20 krets (5) som anordnats att behålla den resistiva ledarens resistans konstant.

3. Hygrometer enligt patentkravet 2, k ä n n e - t e c k n a d av, att det sorptiva materialet (16) anordnats ovanpå den resistiva ledaren (12).
25

4. Hygrometer enligt patentkravet 3, k ä n n e - t e c k n a d av, att den resistiva ledaren (12) formar ett serpentinmönster på basskivan.

5. Hygrometer enligt patentkravet 2, 3 eller 4,
30 k ä n n e t e c k n a d av, att den dessutom omfattar sorptivt material (16) på basskivans andra sida.

6. Hygrometer enligt patentkravet 1, 2, 3, 4 eller 5, k ä n n e t e c k n a d av, att det sorptiva materialet (16) omger basskivan (11) och elektroderna (12, 15).

7. Hygrometer enligt patentkravet 2, k ä n n e -
t e c k n a d av, att den resistiva ledaren (12) utgörs
av den ena av de på basskivans motsatta sidor anordnade
elektroderna.

5 8. Hygrometer enligt patentkravet 2, k ä n n e -
t e c k n a d av, att den resistiva ledaren (12) och
elektroderna är separata och anordnade mellan varandra på
basskivans (11) ena yta.

10 9. Hygrometer enligt patentkravet 2, k ä n n e -
t e c k n a d av, att den resistiva ledaren (12) utgör en
gren av en Wheatstone-brygga, och att den omfattar en dif-
ferentialförstärkare (24) som matar ström genom den resis-
tiva ledaren (12) för att hålla dess resistans och tempe-
ratur konstant.

15 10. Hygrometer enligt patentkravet 9, k ä n n e -
t e c k n a d av, att en gren av Wheatstone-bryggan om-
fattar en kopplingsanordning (30) för att variera grenens
resistans, för att den resistiva ledarens (12) konstanta
resistans och konstanta temperatur ska kunna varieras.

20 11. Hygrometer enligt patentkravet 1, k ä n n e -
t e c k n a d av, att oskillatorkretsen (5) är en Col-
pitts-oskillator.

25 12. Hygrometer enligt patentkravet 1, k ä n n e -
t e c k n a d av, att oskillatorn (5) är en JFET Pierce-
kristalloskillator.

13. Hygrometer enligt patentkravet 1, k ä n n e -
t e c k n a d av, att basskivan (11) är kvarts.

30 14. Hygrometer enligt patentkravet 1, k ä n n e -
t e c k n a d av, att basskivan (11) är av en metall och
omfattar en icke-ledande barriär mellan basskivan av me-
tall och elektroderna.

15. Hygrometer enligt patentkravet 1, k ä n n e -
t e c k n a d av, att det sorptiva materialet (16) är
aluminiumoxid.

16. Hygrometer enligt patentkravet 1, k ä n n e -
t e c k n a d av, att elektroderna (12, 15) är av plati-
na.

5 17. Hygrometer enligt patentkravet 1, k ä n n e -
t e c k n a d av, att det sorptiva materialet (16) är ett
hygroskopiskt polymer.

18. Hygrometer enligt patentkravet 1, k ä n n e -
t e c k n a d av, att det sorptiva materialet (16) är ett
hygroskopiskt sampolymer.

10 19. Hygrometer enligt patentkravet 1, k ä n n e -
t e c k n a d av, att det sorptiva materialet (16) är ett
sönderflytande salt.

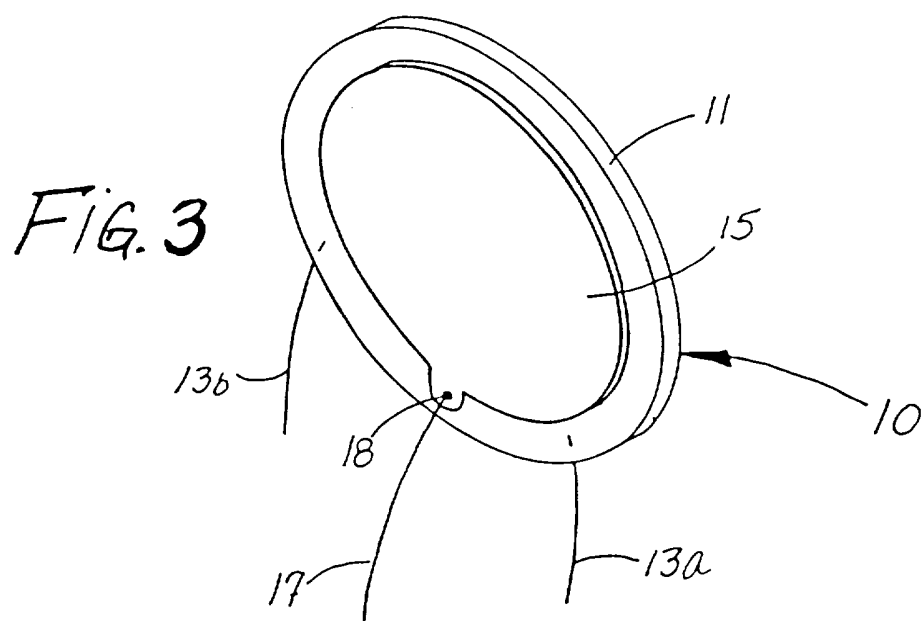
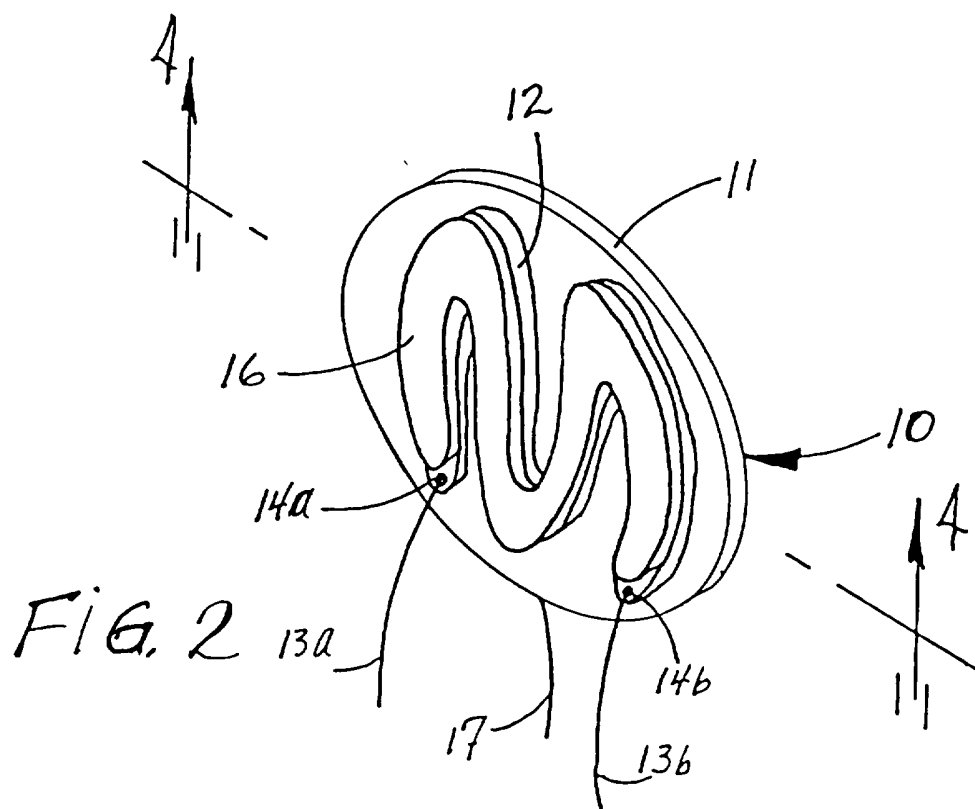
20. Hygrometer enligt patentkravet 1, k ä n n e -
t e c k n a d av,

15 att basskivan (11) är av kvarts,
att en elektrod på kvartsbasskivans (11) ena sida
utgör en temperaturkoefficientresistiv ledare (12),

att en aluminiumoxidbeläggning (16) har anordnats
på den resistiva ledaren (12),

20 att en med återkoppling styrd elektrisk krets an-
ordnats att hålla den resistiva ledarens (12) resistans
konstant, och

att oskilleringsfrekvensen står i förhållande till
den i aluminiumoxidmaterialet sorberade mängden vatten.



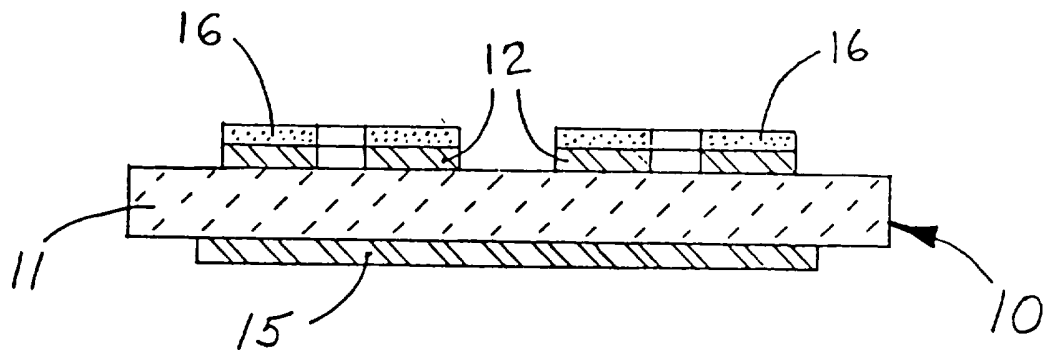


FIG. 4

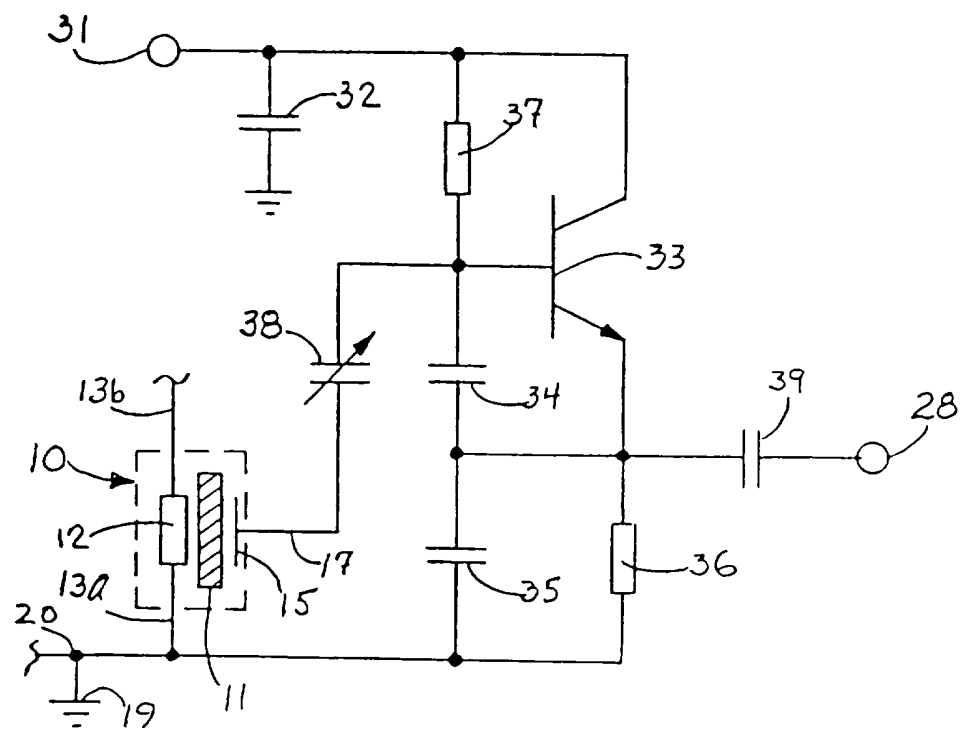


FIG. 5

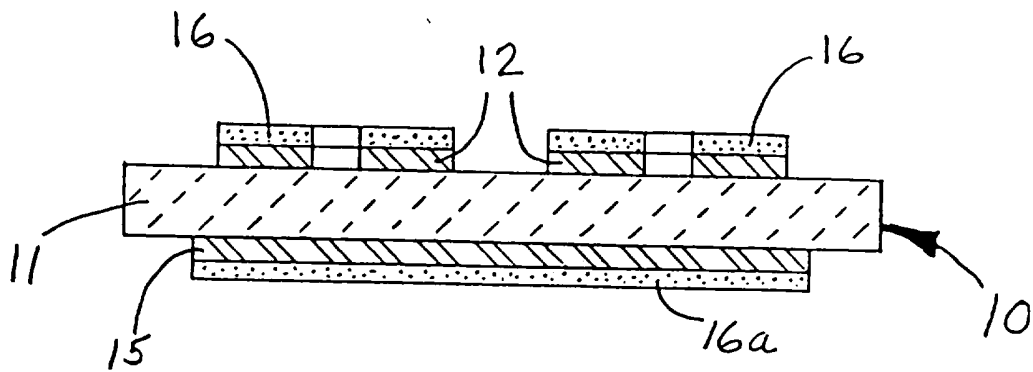


FIG. 6

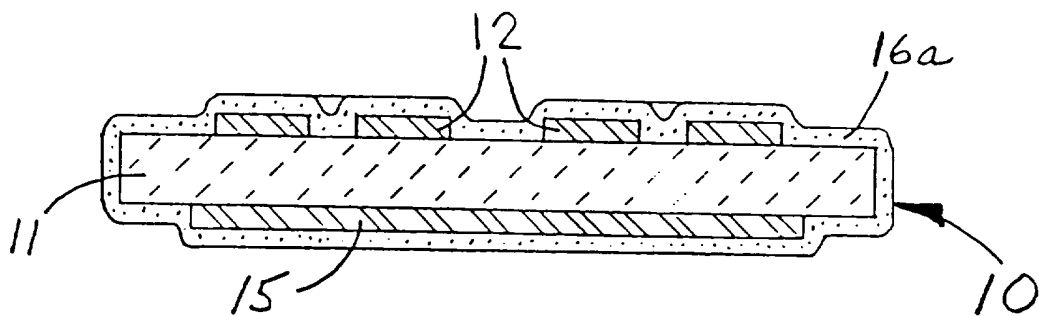


FIG. 7

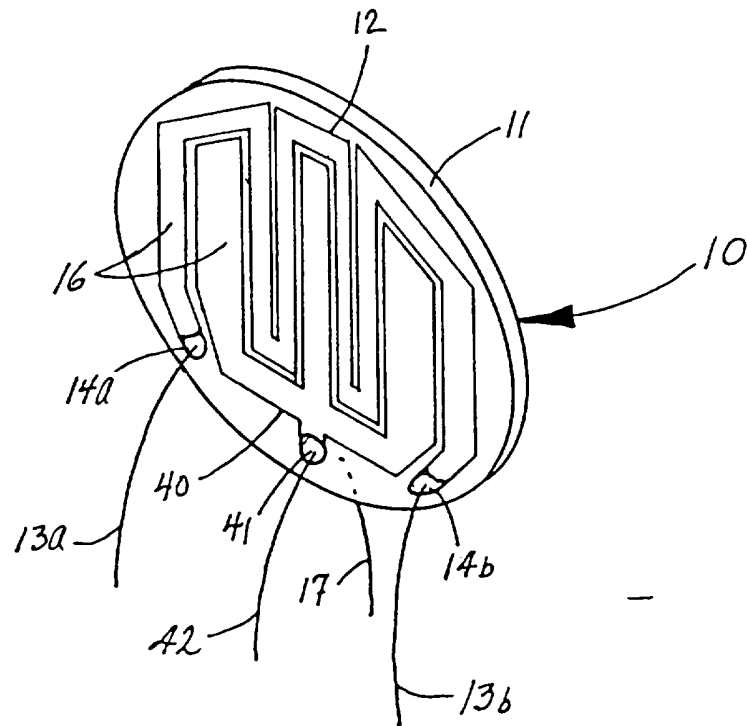


FIG. 8

