



O (15) Patentti Oy
Patent nro 25 10 1993
(51) Kv.1k.5 - Int.cl.5

H 01L 39/02, 39/24, 21/603, 23/48, H 01R 4/68

SUOMI-FINLAND
(FI)

Patentti- ja rekisterihallitus
Patent- och registerstyrelsen

(21) Patentihakemus - Patentansökning	904071
(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag	17.08.90
(24) Alkupäivä - Löpdag	17.08.90
(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig	18.02.92
(44) Nähtäväksipanon ja kuul.julkaisun pvm. - Ansökan utlagd och utl.skriften publicerad	15.07.93

(71) Hakija - Sökande

1. Neuromag Oy, c/o Kylmälaboratorio, Rakentajanaukio 2, 02150 Espoo, (FI)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1. Ahonen, Antti Ilmari, Töölöntorinkatu 9 A 13, 00260 Helsinki, (FI)
2. Kajola, Matti Jaakko, Tiistiläntörmä 1 B 8, 02230 Espoo, (FI)
3. Simola, Juha Tapani Antero, Vesakkotie 5 B 64, 00630 Helsinki, (FI)

(74) Asiamies - Ombud: Leitzinger Oy

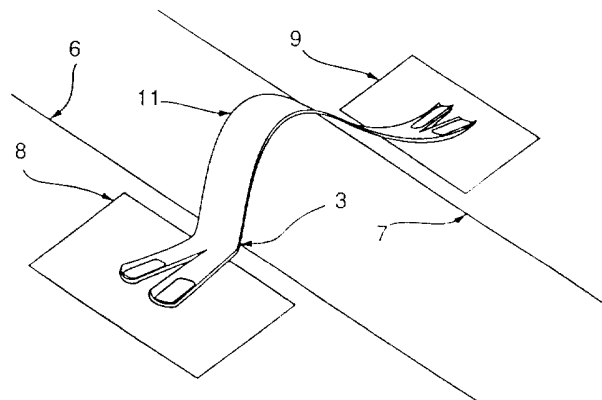
(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

Suprajohtava liitos ohutkalvokomponenteille ja menetelmä sen tekemiseksi
Supraleadande fog för tunnfilmkomponenter och metod för dess tillverkning

(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Luotettava suprajohtava kontakti ohutkalvokomponenteille käyttäen pehmeitä suprajohtavia materiaaleja, sekä menetelmä liitosten tekemiseksi. Keksinnön mukainen liitos koostuu ohuesta kontaktiliuskasta (3), jossa on liitoskohtien välinen litteä, taipuisa ja taivutettu osa (11), joka pienentää liitosta valmistettaessa muodostuvia ja jäähtymisestä aiheutuvia liitoskohtiin kohdistuvia jännitysvoimia, sekä liitoskohdissa poikkileikkaukseltaan U-muotoisista palkkiosista. Liitos muodostetaan puristamalla liuska vasten kontaktipintaa (8) siten, että kontaktiliuskan pää muovautuu U-muotoiseksi kouruksi liitoksen alueelta, käyttäen pinta-alaltaan pientä tasaista juotosanturaa (10), jonka lämpötila on matalampi kuin kontaktiliuskan sulamispiste. Liuskan (3) pää voi lisäksi olla halkaistu siten, että voidaan tehdä kaksin- tai useammankertaisia liitoksia. Liitosliuskan levymäisyys ja ohuus tekee mahdolliseksi tar-kan juotoslämpötilan kontrolloinnin sekä pienentää materiaalien lämpölaajenemisesta aiheutuvia taivutusvoimia estäen siten liitoksen irtoamisen suprajohtavaa komponenttia käyttölämpötilaan jäähdytettäessä. Vastaavat tunnetut menetelmät ovat osoittautuneet luotettavuudeltaan riittämättömiksi erityisesti sellaisissa teknisissä sovellutuksissa, joissa usean kymmenen liitoksen samanaikainen onnistuminen on oleellista.



En med hjälp av mjuka supraledande material tillverkad pålitlig supraledande kontakt för tunnfilmkomponenter, samt en metod för tillverkning av fogarna. En fog tillverkad enligt uppfinningen består av en tunn kontaktremsa (3), som mellan anknytningspunkterna har en tillplattad, böjlig och bockad del (11), vilken förminskar de mot anknytningspunkterna verkande tensionskrafter som uppstår vid tillverkning eller nedkylning, samt i anknytningspunkterna av en balkdel med U-formad profil. Fogen formas med hjälp av en lödkolv med en till ytan liten och jämn spets (10), vilken pressar remsan mot kontaktytan (8) så att kontaktremsans ända bildar en U-formad ränna vid fogområdet. Lödkolvens temperatur understiger kontaktremsans smältpunkt. Remsans (3) ända kan ytterligare vara kluven för att möjliggöra tillverkning av två- eller flerhövdade fogar. Fogremsans platthet och tunnhet möjliggör en noggrann kontroll av lödtemperaturen samt förminskar de bockningskrafter som förorsakas av materialens värmeutvidgning, och förhindrar sålunda att fogen lossnar då den supraledande komponenten nedkyls till användningstemperatur. Motsvarande kända metoder har inte visat sig vara tillräckligt tillförlitliga. Tillförlitligheten är otillräcklig speciellt i sådana tekniska tillämpningar som väsentligt grundar sig på att tiotals fogar fungerar samtidigt.

SUPRAJOHTAVA LIITOS OHUTKALVOKOMPONENTEILLE JA MENETELMÄ SEN TEKEMISEKSI

- Tämän keksinnön kohteena on luotettava, termistä kierrätystä kestävä suprajohtava liitos ohutkalvotekniikalla valmistetuille suprajohtaville komponenteille.
- 5 Keksinnön kohteena on myös menetelmä tällaisen liitoksen tekemiseksi. Uudentyyppinen luotettava liitos on välttämätön erityisesti rakennettaessa laitteita, joissa on olennaista useiden suprajohtavien liitosten samanaikainen moitteeton toiminta, esimerkiksi monikanavaisissa magnetometreissä, joita käytetään heikkojen biomagneettisten ilmiöiden mittaamiseen.
- 10 Aluslevylle, esim piille, kvartsille, safiirille tai lasille ohutkalvotekniikalla tehtyjen suprajohtavien elektronisten komponenttien (kelat, kvantti-interferenssilaitteet) yhdistämiseen aluslevyn ulkopuolella olevaan elektroniikkaan liittyy seuraavia ongelmia: 1) Sähköisen kontaktin tulee olla matalissa lämpötiloissa suprajohtava, mikä edellyttää, että saavutetaan riittävän puhdas metalli-metalli kontakti. 2) Erot käytettävien materiaalien (esim. lasikuituinen piirilevy, pii, lyijy, tina, niobi) lämpölaajenemiskertoimissa aiheuttavat liitosjohtoihin mekaanista jännitystä, koska suprajohtavan laitteen toiminta edellyttää sen jäähdyttämistä lämpötilaan, joka on huomattavasti matalampi kuin se lämpötila, jossa liitos tehdään. 3) Irronneiden liitosten korjaaminen laitteiden toimintalämpötilassa
- 20 (4 K) ei ole mahdollista, joten laite on korjausta varten aina lämmitettävä huoneenlämpötilaan. Erityisesti laitteissa, jotka sisältävät suuren määrän suprajohtavia liitoksia on sen vuoksi liitosten oltava luotettavia ja termistä kierrätystä kestäviä, jottei joidenkin liitosten korjausta varten laitetta lämmitettäessä rikottaisi toisia.
- 25 Pienikokoisten suprajohtavien liitosten tekemiseen käytetään yleisesti lyijy-, tina-, tinalyijy- tai niobilankoja, koska nämä materiaalit ovat suhteellisen pehmeitä ja niiden suprajohtavuustransitiolämpötilat ovat selvästi nesteheliumin lämpötilan yläpuolella (katso esim. S. Kiryu *et al.* kirjassa *Advances in Biomagnetism*, eds. S. J. Williamson and L. Kaufman, Plenum Press, New York 1990). Lyijy, tina sekä niiden seokset sulavat matalissa lämpötiloissa (200–400 °C) joten tehtäessä liitoksia näistä materiaaleista valmistetuilla langoilla voidaan käyttää hyväksi langan pehmenemistä lähellä sulamispistettä. Niobia ei voida helposti sulattaa, joten niobiliitoksia ohutkalvoille tehtäessä on käytettävä ultraääneen perustuvaa menetelmää. Niobi on lankamateriaalina jäykkää, joten liitoslankojen
- 30 pitää olla joko pitkiä tai ohuita ($< 10 \mu\text{m}$) liian suurten jännitysten välttämiseksi

liitoskohdassa. Ohutta niobilankaa on vaikea valmistaa ja pitkät langat vievät tilaa, irtoavat käsiteltäessä helpommin ja erityisesti vaikeuttavat geometrian hallintaa magnetometrisovellutuksissa. Lyijy ja tina ovat ultraäänitekniikan kannalta liian pehmeitä, joten niitä käytettäessä lanka yleensä painetaan kuumalla juotosanturalla vasten ohutkalvopiirin kontaktialuetta. Koska tyypilliset ohutkalvopohjamateriaalit johtavat lämpöä hyvin, käy helposti niin, että langan pinta anturan alla sulaa ja tarttuu anturaan ennen kuin langan ohutkalvokomponenttia vastaan painuva osa lämpenee ja pehmenee riittävästi tehdäkseen hyvän metallisen kontaktin. Liitos jää joko mekaanisesti heikoksi ja irtoaa jäähdytettäessä tai ei ole suprajohtava. Vaikka liitos onnistuisikin saattavat ongelmaksi muodostua suhteellisen paksun (40–100 μm) langan välittämät liitokseen kohdistuvat jännitykset laitetta toimintalämpötilaan jäähdytettäessä.

Tämän keksinnön tarkoituksena on saada aikaan uudenlainen suprajohtava lyijy-, tina-, tai tinalyijyliitos, johon ei liity edellämäinittuja epäkohtia. Keksinnön mukaiselle liitokselle on pääasiassa tunnusomaista patenttivaatimuksissa 1, 2 ja 3 esitetyt seikat. Liitoksen tekemisessä käytetyn menetelmän tunnusmerkit on esitetty vaatimuksissa 4 ja 5.

Keksinnön mukaista litistettyä liitoslankaa käytettäessä muodostuu langan ja ohutkalvokomponentin välille laaja, tasomainen kontaktipinta, jonka lämpötila metallikerroksen ohuuden vuoksi on oleellisesti sama kuin puristamiseen käytetyn anturan. Näin liitospinnan lämpötilaa voidaan helposti kontrolloida ja se saadaan riittävän korkeaksi lankaa anturan puolelta sulattamatta. Tämä varmistaa metalli-metalli kontaktin syntymisen liitospintaan.

Liitoslangan halkaiseminen toisesta tai molemmista päistä on helppoa, koska lanka on levymäinen. Halkaisu mahdollistaa rinnakkaisten riippumattomien kontaktien tekemisen. Tämä lisää monta liitosta sisältävien laitteiden luotettavuutta oleellisesti: Oletetaan, että laite koostuu N :stä elementistä, joista kunkin toiminta riippuu kahdesta sarjassa olevasta liitoksesta (virta sisään ja ulos). Jos yhden liitoksen pettämistodennäköisyys on p ja liitoksista, joita on $2N$ kappaletta, tehdään yksinkertaiset, toimii koko laite todennäköisyydellä $P_1 = (1-p)^{2N}$. Jos sen sijaan liitokset ovat kaksinkertaiset (liitoslanka halkaistu kahteen osaan joihin tehty liitokset erikseen tässä keksinnössä esitetyllä tavalla), saadaan koko laitteen toimintatodennäköisyydeksi $P_2 = (1-p^2)^{2N}$. Kun halutaan välttää laitteen kohtuuton terminen kierrätys tulisi vähintään joka toisen jäähdytyksen olla laitteen toiminnan kannalta onnistunut, eli $P > 0.5$. Näinollen, jos oletetaan esimerkiksi, että tilastollisesti joka sadas kontakti pettää jäähdytettäessä ($p=0.01$), saa-

daan laitteen komponenttien kriittiseksi ylärajaksi yksinkertaisia liitoksia käyttäen 34 mutta kaksinkertaisia liitoksia käyttäen 3470.

Kun säädetään juotosanturan puristava voima ja lämpötila sopivaksi, muovautuu tämän keksinnön mukainen liitokseen käytetty liuska pehmetessään liitoskohdasta alkuperäistä liuskaa oleellisesti jäykemmäksi U-palkin muotoiseksi kouruksi, joka ei taivu liitoksen alueelta. Tämä on omiaan estämään liitoksen irtaamisen kuoriutumalla. Liitosalueen ulkopuolelle, liuskan nauhamaiseen osaan tehdyn taitoksen kohdalta liuska sensijaan taipuu helposti. Kun laitteen eri osat jäähdytettäessä kutistuvat eri suuruisia määriä, tapahtuu kontaktiliuskan pituudessa ja kiinnityskohtien (päiden) välisessä etäisyydessä muutoksia, joiden seurauksena liuskan taipuessa liitoskohtiin muodostuu tukireaktio (leikkausvoima ja momentti), joka rasittaa liitosta ja voi irroittaa sen. Koska tukireaktio on oleellisesti verrannollinen liuskan leveyteen ja sen taipumissuunnan suuntaisen paksuuden kolmanteen potenssiin, välittää tämän keksinnön mukainen n. 10 µm paksuinen ja 100 µm leveä liuska liitoskohtiin voiman, joka on vain noin $100/50 \cdot (10/50)^3 \approx 0.02$ kertaa se voima, jonka tyypillinen 50 µm paksu poikkileikkaukseltaan pyöreä kontaktilanka välittäisi samalla tavalla taipuessaan. Liitoksen kestävyys kannalta saavutettava etu on oleellinen, jos liitosta joudutaan laitteen huollon vuoksi toistuvasti lämmittämään ja jäähdyttämään.

Seuraavassa kuvataan keksintö yksityiskohtaisesti viittaamalla piirustuksiin, joissa kuva 1 esittää kontaktilanka-aihion muokkaamista ohueksi kontaktilius-kaksi, kuva 2 esittää kontaktiliuskan asennustavan ja kuva 3 esittää perspektiivikuva liitoksesta ja valmiista kontaktista.

Kuvan 1 mukaisesti ahiolanka 1, halkaisijaltaan n. 100 µm, puristetaan tai valsataan n. 10 µm vahvuiseksi ja 3–4 mm levyiseksi levyksi 2, johon tehdään haluttu määrä osittaisleikkauksia 4 ja lopuksi valmiin kontaktiliuskan 3 irroittava leikkaus 5. Kontaktiliuska siirretään kuvan 2a mukaisesti paikalleen yhdistämään eri aluslevyillä 6 ja 7 sijaitsevia komponentteja siten, että sen päät lepäävät kontaktialueiden 8 ja 9 päällä. Liuska kiinnitetään jommasta kummasta päästään painamalla se kuumalla juotosanturalla 10 vasten kontaktialuetta. Sen jälkeen taivutetaan liuska kuvan 2b osoittamalla tavalla ja liitetään toinenkin pää kuten edellä. Kuvassa 3 on valmis liitos, jonka alueelta liuska on muovautunut palkkimaiseksi. Liuska myötäilee lämpölaajenemiskertoimien eroista johtuvaa kontaktialueiden 8 ja 9 välistä suhteellista liikettä taipumalla taitoksen 11 kohdalta palkkimaisten liitosalueiden pysyessä jäykkänä.

PATENTTIVAATIMUKSET

1. Suprajohtava liitos elektroniikkapiirilevyn ja ohutkalvotekniikalla alustamateriaalille valmistetun suprajohtavan komponentin välille tai kahden suprajohtavan ohutkalvokomponentin välille, **tunnettu** siitä, että liitoksen muodostaa ohut, pehmeästä suprajohtavasta materiaalista tehty levy (kontaktiliuska), joka muodostuu liitoskohtien välillä olevasta litteästä, taipuisasta ja taivutetusta osasta (11), joka pienentää liitosta valmistettaessa muodostuvia ja jäähtymisestä aiheutuvia liitoskohtiin kohdistuvia jännitysvoimia, sekä liitoskohdissa poikkileikkaukseltaan U-muotoisista palkkiosista.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen liitos, **tunnettu** siitä, että kontaktiliuska on pitkittäin halkaistu ohutkalvokomponentin puoleisesta päästään tai molemmista päistään kahteen tai useampaan osaan ja kukin näin muodostunut haara on erikseen liitetty kontaktialueeseen.

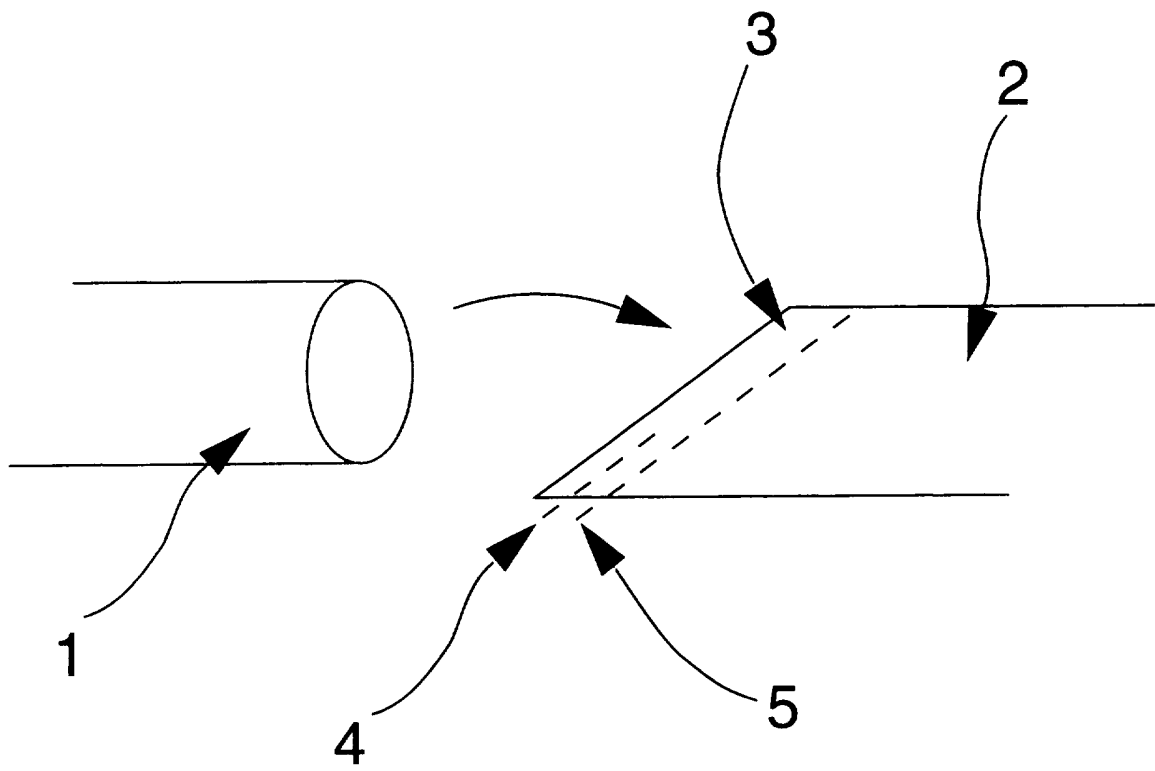
3. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen liitos, **tunnettu** siitä, että kontaktiliuska on 5–200 kertaa paksuuttaan leveämpi.

4. Menetelmä patenttivaatimuksen 1 mukaisen liitoksen tekemiseksi, **tunnettu** siitä, että kontaktiliuska (3) puristetaan kontaktipintoja vasten siten, että kontaktiliuskan pää muovautuu U-muotoiseksi kouruksi liitoksen alueelta, käyttäen pinta-alaltaan pientä tasaista juotosanturaa (10), jonka lämpötila on matalampi kuin kontaktiliuskan sulamispiste.

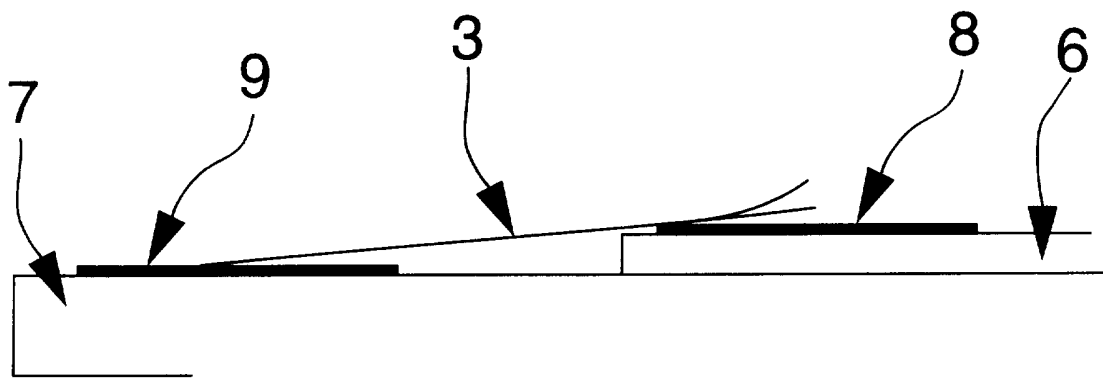
5. Patenttivaatimuksen 4 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että kontaktiliuska (3) tehdään litistämällä pyöreästä langasta (1).

PATENTKRAV

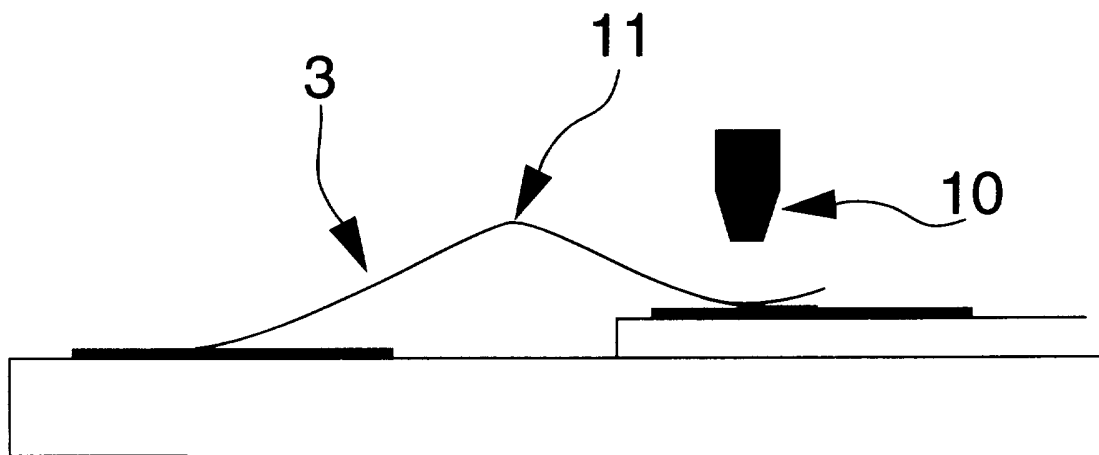
1. En supraledande fog mellan ett elektronik-kretsskiva och en supraledande komponent tillverkad med tunnfilmt teknik på ett substrat eller mellan två supraledande tunnfilmkomponenter, vilken **kännetecknas därav**, att fogen utgörs av en tunn, av mjukt supraledande material tillverkad platta (kontaktremsa), som består av en mellan anknytningspunkterna platt, böjlig och bockad del (11), vilken förminskar de mot anknytningspunkterna verkande tensionskrafter som uppstår vid tillverkning eller nedkylning, samt av en balkdel med U-formad profil i anknytningspunkterna.
2. En fog enligt patentkrav 1 vilken **kännetecknas därav**, att kontaktremsan är kluven längsgående i två eller flera delar i ändan med tunnfilmkomponenten eller i båda ändorna och att varje så uppkommen förgrening är särskilt sammanfogad med kontaktområdet.
3. En fog enligt patentkrav 1 eller 2, vilken **kännetecknas därav**, att kontaktremsans bredd är 5–200 gånger så stor som dess tjocklek.
4. En metod för tillverkning av en fog enligt patentkrav 1, vilken **kännetecknas därav**, att kontaktremsan (3) pressas mot kontaktytorna så, att kontaktremsans ända formas till en U-formad ränna vid fogområdet, med hjälp av en lödkolv med en till ytan liten och jämn spets (10), vars temperatur understiger kontaktremsans smältpunkt.
5. En metod enligt patentkrav 4, vilken **kännetecknas därav**, att kontaktremsan (3) tillverkas genom tillplattning av en rund tråd (1).



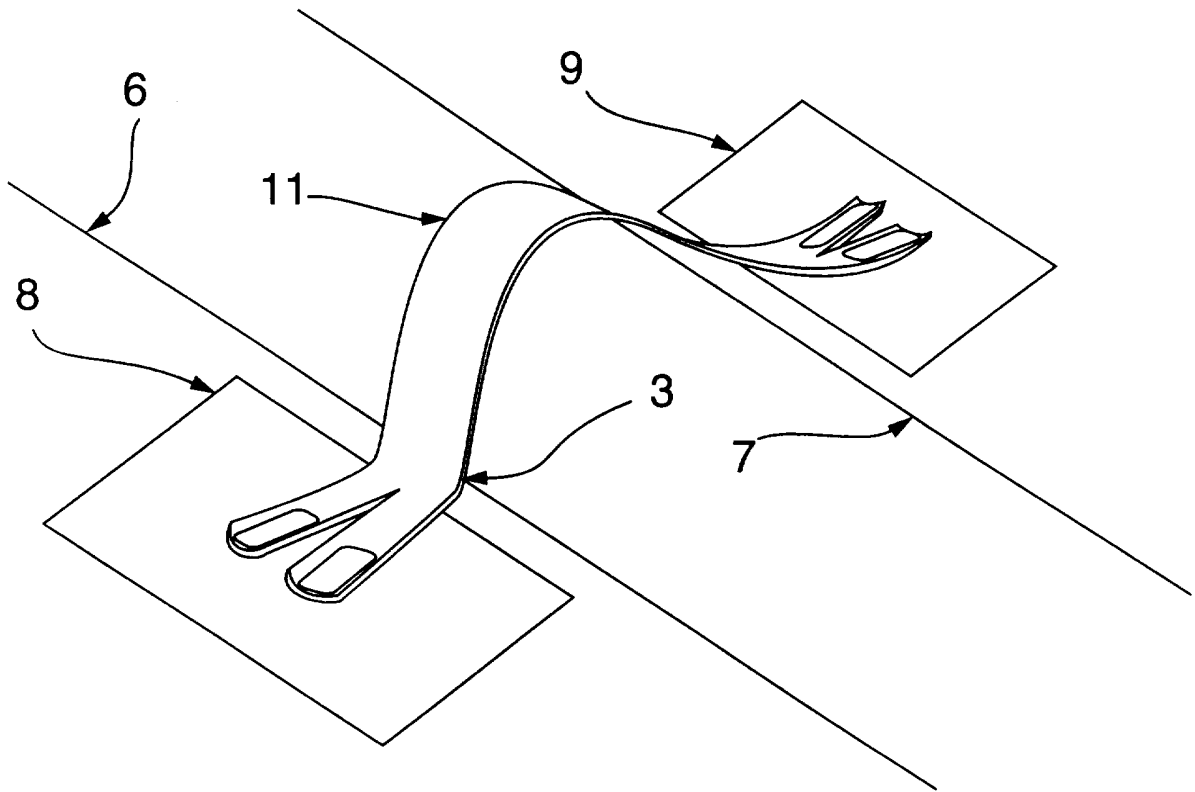
Kuva 1



Kuva 2a



Kuva 2b



Kuva 3