(19)

SUOMI - FINLAND
(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS
PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN
FINNISH PATENT AND REGISTRATION OFFICE

(10) **FI 932295 A7**

(12) **JULKISEKSI TULLUT PATENTTIHAKEMUS**
PATENTANSÖKAN SOM BLIVIT OFFENTLIG
PATENT APPLICATION MADE AVAILABLE TO THE PUBLIC

(21) Patenttihakemus - Patentansökan - Patent application 932295

(51) Kansainvälinen patenttiluokitus - Internationell patentklassifikation - International patent classification
H01L 21/285
H01L 21/3205

(22) Tekemispäivä - Ingivningsdag - Filing date **19.05.1993**

(23) Saapumispäivä - Ankomstdag - Reception date **19.05.1993**

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig - Available to the public **21.11.1993**

(43) Julkaisupäivä - Publiceringsdag - Publication date **13.06.2019**

(32) (33) (31) Etuoikeus - Prioritet - Priority

20.05.1992 DE 4216715

(71) Hakija - Sökande - Applicant

1 • **Epcos AG,** Sankt-Martin-Strasse 53, 81541 München, SAKSA, (DE)

(72) Keksijä - Uppfinnare - Inventor

1 • **Willer, Josef,** Germany, SAKSA, (DE)
2 • **Wendt, Hermann,** Germany, SAKSA, (DE)
3 • **Lehman, Volker,** Germany, SAKSA, (DE)

(74) Asiamies - Ombud - Agent

Berggren Oy Ab, Antinkatu 3 C, 00100 Helsinki

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning - Title of the invention

Menetelmä Al-pitoisen kerroksen valmistamiseksi tasomaisella pinnalla substraatille, jonka pinnalla on suuren sivusuhteen reikärakenteita

Förfarande för tillverkning av ett Al-haltigt skikt med plan yta på ett substrat vars yta har hålstrukturer med ett stort sidförhållande

Menetelmä Al-pitoisen kerroksen valmistamiseksi tasomaisella pinnalla substraatille, jonka pinnalla on suuren sivusuhteen reikärakenteita - Förfarande för tillverkning av ett Al-haltigt skikt med plan yta på ett substrat vars yta har hålstrukturer med ett stort sidförhållande

Keksintö koskee Al-pitoisen kerroksen valmistamiseksi tasomaisella pinnalla substraatille, jonka pinnalla on suuren sivusuhteen reikärakenteita.

Sivusuhteella tarkoitetaan reikärakenteen syvyyden/halkaisijan suhdetta.

Eri käyttötapauksia varten on substraatin pinnalle, jossa on suuren sivusuhteen reikärakenteita, muodostettava kerroksia, jotka sulkevat reikärakenteet ja joilla on tasomainen pinta. Suuren sivusuhteen reikärakenteita, ts. joiden sivusuhde on vähintään 10, erityisesti 50 - 200, ei voi täyttää sputteroimenetelmillä. Pinnalle voidaan vain muodostaa kerros, joka sulkee reikärakenteet. Erityisesti sellaisiin substraatteihin järjestettyjen komponenttien kontaktoimiseksi on muodostettava tasomainen Al-pitoinen kerros. Sen on oltava tasomainen, jotta se olisi yhteensopiva saatavilla olevien liitosmenetelmien, kuten lankasidoksen (wire-bonding) kanssa. Al-pitoiset kerrokset kerrostetaan tavallisesti höyrystämällä tai sumuttamalla. Ei-tasasuuntaavien ja pieniohmisten kontaktien valmistamiseksi pii-puolijohdemateriaaleille kontaktoitavat substraatit varustetaan titaanikerroksella ja TiN-diffuusioestokerroksella. Päälle kerrostetaan Al-pitoinen kerros.

Kirjallisuudesta (ks. esim. Proceedings of the International IEEE VLSI Multilevel Interconnection Conference 5 (1988), s. 76 - 84; JP 2 - 68 926 /A); EP 0 485 130 A2; EP 0 430 403 A2) tunnetaan kontaktireikien täyttäminen niin, että täytteellä on tasomainen pinta. Kontaktireikien sivusuhde on noin 1, enintään

5. Lisäksi kontaktireiän sivuseinä muodostuu eristeestä. Kontaktireikiä täytettäessä tavoitteena on kontaktireiän täyttäminen johtavalla materiaalilla kokonaan, jotta varmistettaisiin virran kulku kontaktireiän pohjalta kontaktireiän täytteen pinnalle mahdollisimman pieniohmisen johtimen kautta. Kontaktireikää täytettäessä verkkoutuminen näyttelee oleellista osaa. Tätä varten kontaktireiän sivuseinälle ja pohjalle levitetään titaanipitoinen kerros. Titaanipitoisen kerroksen ja kerrostetun alumiinin välillä tapahtuu Ti-Al-reaktio, joka aktivoi adheesiovoimia. Tämän johdosta alumiiniatomit vetäytyvät titaanipitoisella kerroksella peitetyn kontaktireiän pohjalle.

Jos substraatille, jonka pinnalla on sivusuhteen reikärakenteita, kerostetaan höyrystämällä tai sumuttamalla Al-pitoinen kerros, niin 5 µm tai pienemmillä kerrospaksuuksilla reikärakenteet eivät sulkeudu, vaikka niiden halkaisija olisi alle 2 µm. Alumiinipitoinen kerros laskeutuu reikärakenteiden välisille väliseinille. Tämän johdosta reikärakenteiden sylinteriaukot kapenevat kerrospaksuuden kasvaessa. Reikärakenteiden sulkemiseksi vaaditaan kuitenkin merkittävästi suuremmat kerrospaksuudet kuin 5 µm. 1 - 3 µm kerrospaksuuksilla tällä tavalla ei saavuteta mitään yhtenäistä tasomaista pintaa.

Keksinnön tehtävänä on siten osoittaa menetelmä tasomaisen Al-pitoisen kerroksen valmistamiseksi substraatille, jonka pinnalla on reikärakenteitä, jolla menetelmällä saavutetaan tasomainen pinta myös noin 1 µm - 3 µm välillä olevilla kerrospaksuuksilla.

Keksinnön mukaisesti ongelma ratkaistaan patenttivaatimuksen 1 mukaisella menetelmällä. Suuren sivusuhteen käsitteellä ymmärretään sivusuhdetta, joka on ainakin 10. Keksinnön mukaista menetelmää voi erityisen edullisesti käyttää sivusuhteilla, jotka ovat välillä 50 - 200, sekä reiän halkaisijoilla, jotka ovat välillä 0,1 - 2 µm.

Keksinnön mukaisella menetelmällä voidaan valmistaa alumiinipi-

toisia kerroksia substraateille, joissa on suuren sivusuhteen reikärakenteita. Näitä reikärakenteita ei tarvita alumiinipitoisella kerroksella toteutettavaa kontaktia varten. Prosessiteknisistä tai käyttökohteelle ominaisista syistä nämä reikärakenteet voivat kuitenkin olla välttämättömiä.

Tämä koskee erityisesti yksikiteisiä piisubstraatteja, joiden pintaa laajennetaan sähkökemiallisella syövytyksellä fluoridipitoisessa, happamassa elektrolyytissä.

Jos reikärakenteiden pinta on johtava, koska se on esim. seostettua piitä tai seostettua polypiitä, niin kontaktikerroksen valmistamiseksi riittää tasomaisen, yhtenäisen, reikärakenteiden reiänaukot sulkevan, alumiinipitoisen kerroksen valmistaminen. Suurilla sivusuhteilla reiät eivät voi täyttyä, koska kerrostamismenetelmän kannalta reiät voidaan katsoa äärettömän syviksi. Reikien täyttämistä ei tässä tapauksessa myöskään tarvita, koska virta kulkee reikärakenteiden pinnan kautta alumiinipitoiseen kerrokseen.

Keksinnön mukaisessa menetelmässä alumiinipitoinen kerros valmistetaan sputteroimalla. Sputteroitaessa muodostuu substraatin ulottuvuuden suhteen samansuuntaiselle pinnalle sputteroinnin kestosta riippuva kerrospaksuus, joka reikärakenteiden siihen nähden kohtisuorilla reunoilla pienenee saapuvien atomien kulmajakautumasta johtuen. Osoittautui, että kasvavan kerroksen atomeilla ilman lisätoimenpiteitä on riittämätön pintaliikkuvuus, niin ettei reikä umpeudu koska toinen reuna varjostaa vastakkaista reunaa. Vasta korotetun lämpötilan johdosta, jossa alumiinipitoisen kerroksen kerrostaminen keksinnön mukaisesti tapahtuu, esiintyy atomien kasvavaa liikkuvuutta kasvavassa kerroksessa, niin että pinta minimoituu kerroksen kasvaessa yhteen reikien yli. Tällä tavalla saadaan keksinnön mukaisella menetelmällä jo alumiinipitoisen kerroksen vähäisellä 1 - 3 µm kerrospaksuudella yhtenäinen, tasomainen pinta.

Alumiinipitoista kerrosta kerrostettaessa pintaliikkuvuus kas-

vaa korotetun substraattilämpötilan ja vähäisen jäännöskaasun osapaineen seurauksena. Siten mahdollistetaan pintaenergian minimoiminen, niin että reikien aukot voivat umpeutua. Tämä mekanismi toimii erityisesti silloin, kun koheesiovoimat alumiinipitoisessa kerroksessa voittavat adheesiovoimat alustaa kohti.

Alumiinipitoista kerrosta kerrostettaessa substraatti pidetään edullisesti lämpötilassa, joka on välillä noin 400 °C - 500 °C. Alumiinipitoisten kerrosten tunnetuilla valmistusmenetelmillä tällaista suuruusluokkaa olevassa lämpötilassa vaaditaan kerrostamiseen liittyen yleensä temperointivaihe. Sen vuoksi substraatin lämpötilassa noin 400 °C - 500 °C tapahtuva sputterointi ei merkitse rakenteelle mitään lämpötilasta johtuvaa lisäkuormitusta. Jälkeenpäin tapahtuva temperointi voidaan keksinnön mukaisessa menetelmässä kuitenkin jättää pois. Tämä merkitsee käsittelyjärjestyksen yksinkertaistumista.

Keksinnön puitteisiin kuuluu, että tyhjössä vallitsee jäännöskaasun osapaine, joka on pienempi kuin $1{,}3 \times 10^{-5}$ Pa (10^{-7} Torr). Koska partikkeleiden liikkuvuus kasvaa jäännöskaasun osuuden pienentyessä, voidaan erittäin hyvän tyhjön tapauksessa, kuten esim. UHV-sputterointilaitoksessa on varmistettu, jonkin verran laskea alumiinipitoisen kerroksen kerrostamiseen vaadittavaa substraatin lämpötila. Erityisesti silloin, kun substraattin pinnalla on yksikiteistä tai monikiteistä piitä, on edullista käyttää alumiinipitoisen kerroksen kerrostamiseen mahdollisimman pientä substraatin lämpötilaa, sillä korkeammissa lämpötiloissa piialustalla esiintyy voimakkaampaa alumiinin pisteväkevöitymistä.

Keksinnön puitteisiin kuuluu, että substraatille ensin kerrostetaan titaania oleva välikerros ja TiN:ä oleva estokerros, jolle alumiinipitoinen kerros kerrostetaan. Välikerros ja estokerros estävät alumiinin pelätyn pisteväkevöitymisen piialustalle, joka voi johtaa komponenttien vikaantumiseen. Välikerros ja estokerros kerrostetaan tällöin reikärakenteiden välisille

väliseinille. Ne eivät muodosta mitään yhtenäistä kerrosta. Reikärekenteiden suuresta sivusuhteesta johtuen välikerrosta ja estokerrosta ei voi kerrostaa reikärakenteiden koko pinnalle. Reikärakenteiden pohja ja suurin osa, erityisesti väliseinien alaosa jäävät ilman välikerrosta ja estokerrosta. Ne estävät kuitenkin alumiinin ja piin välisen välittömän kosketuksen.

Menetelmää käytetään erityisen edullisesti kontaktin valmistamiseksi piisubstraatille toteutettua kondensaattoria varten, jonka pintaa on laajennettu sähkökemiallisella syövytyksellä fluoridipitoisessa, happamassa elektrolyytissä, jossa substraatti on kytketty anodiksi, jolloin substraatin laajennetulle pinnalle on järjestetty eristekerros ja seostettu polypiikerros vastaelektrodiksi. Piisubstraatin pinnalla on reikärakenteita, joiden sivusuhde on jopa 1:1000, ja jotka peittävät seostetun polypiikerroksen. Tässä tapauksessa seostetun polypiikerroksen kontaktoimiseksi on valmistettava alumiinipitoinen kontakti, jolla on yhtenäinen tasomainen pinta, ja joka on yhteensopiva esim. wire-bonding -menetelmän kanssa. Tämä kontakti voidaan tehdä valmistamalla tasomainen alumiinipitoinen kerros keksinnön mukaisella valmistusmenetelmällä ja tämän kerroksen strukturoinnilla. Tällöin kontaktista tulee tasomainen, mutta siitä huolimatta ohut, ja siten se valmistetaan kustannuksiltaan edullisesti.

Keksinnön mukaisen menetelmän toisena etuna on, että reikärakenne on suljettu ja siten peitetty alumiinipitoisen kerroksen avulla. Asennuksessa ja muussa valmistusprosessissa reikärakenne on suojattu tämän peitteen avulla.

Suljettu tasomainen alumiinipitoinen kerros voidaan seuraavissa valmistusvaiheissa strukturoida esim. kontaktiksi. Sellaisen strukturoinnin jälkeen voidaan alumiinipitoista kerrosta käyttää syövytysmaskina myöhempää syövyttämistä varten. Tätä voidaan käyttää edullisesti seostetun polypiikerroksen strukturointiin esim. käytettäessä menetelmää kontaktin valmistamiseksi kondensaattoria varten. Käyttämällä syövytysmaskina valmiiksi struk-

turoitua kontaktia, jolla on yhtenäinen tasomainen pinta, vältetään seostetun polypiikerroksen strukturoinnissa vaikeudet, jotka liittyivät reikärakenteilla varustetun substraatin pinnalle fotolakkamaskia valmistettaessa.

Keksinnön mukaisen menetelmän eräänä toisena etuna on, että kerrostaminen on mahdollinen kustannuksiltaan edullisella, valmistuksessa koetellulla DC-magnetroni-sputteroinnilla. Keksinnön mukainen menetelmä soveltuu sekä puhtaille alumiinikerroksille että elektromigraatioresistenteille ohennetuille alumiiniseoksille, esim. alumiinille, jossa on määrätty painoprosentti piitä ja 0,5 painoprosenttia Cu:ta.

Keksinnön muita suoritusmuotoja ilmenee muista patenttivaatimuksista.

Seuraavassa keksintöä selitetään lähemmin kuvion ja erään suoritusesimerkin avulla.

Kuvio esittää reikärakenteisen substraatin, jonka pinnalle on valmistettu tasomainen Al-pitoinen kerros.

Substraatti 1, joka on esimerkiksi n-seostettu ja sisältää yksikiteistä piitä, on varustettu reikärakenteilla 2. Reikärakenteet 2 on valmistettu esim. sähkökemiallisella syövytyksellä fluoridipitoisessa, happamassa elektrolyytissä, jossa substraatti on kytketty anodiksi. Reikärakenteiden 2 sivusuhde on esim. 1:100. Reikärakenteiden 2 pinnalle voidaan järjestää eristekerros ja sen päälle seostettu polypiikerros (ei esitetty).

Substraatin 1 lämpötilassa esim. 200 - 400 ^{o}C valmistetaan reaktiivisella sputteroinnilla kerrossarja 3 puhtaasta titaanista, jonka paksuus on esim. 20 - 30 nm, ja TiN:stä, jonka paksuus on esim. 100 - 150 nm. Ti/TiN laskeutuu reikärakenteiden väliin järjestetyille väliseinille. Sylinterin muotoiset reikärakenteet 2 kapenevat yläpäätänsä kohti. Kerrossarja 3 ei

kuitenkaan muodosta mitään reikärakenteita 2 sulkevaa yhtenäistä kerrosta.

Substraatin lämpötilassa noin 400 - 500 °C kerrostetaan sputterointimenetelmällä puhdas Al-pitoinen kerros 4 tyhjössä, jäännöskaasun osapaineen ollessa pienempi kuin $1,3 \times 10^{-5}$ Pa (10^{-7} Torr), ja sputterointikaasun paineella noin $1,3 \times 10^{-2}$ Pa - 13 Pa, ja kerrostumisnopeudella esim. 1 µm minuutissa. Näissä prosessioloissa varmistetaan suuri pintaliikkuvuus, niin että muodostuu yhtenäinen tasomainen kerros. Kerrospaksuuden ollessa noin 1 µm - 3 µm Al-pitoinen 4 kerros sulkee täydellisesti reikärakenteet 2, joiden halkaisija on esim. 0,5 - 2 µm. Al-pitoinen kerros 4 on erotettu substraatin 1 piistä Ti/TiN-kerrossarjalla 3. Siten vältetään pisteväkevöinnin muodostuminen alumiinin ja piin välillä.

Patenttivaatimukset

1. Menetelmä Al-pitoisen kerroksen valmistamiseksi tasomaisella pinnalla substraatille, jonka pinnalla on reikärakenteita, **tunnettu** siitä, että
- reikärakenteiden sivusuhde on vähintään 10,
- Al-pitoinen kerros (4) kerrostetaan sputterointimenetelmällä substraatin (1) reikärakenteet sisältävälle pinnalle, jolloin substraatti (1) pidetään korotetussa lämpötilassa, ja että
- sputterointimenetelmä toteutetaan paineella, joka on välillä $1,3 \times 10^{-2}$ Pa - 13 Pa, sekä vähäisellä jäännöskaasun osapaineella.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että reikärakenteiden sivusuhde on alueella 50 - 200.

3. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että reikärakenteiden pinta on sähköä johtava.

4. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että substraatti (1) pidetään Al-pitoisen kerroksen (4) kerrostamisen aikana lämpötilassa, joka on välillä noin 400 °C - 500 °C.

5. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen 1 - 4 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että tyhjössä vallitseva jäännöskaasujen osapaine on pienempi kuin $1,3 \times 10^{-5}$ Pa.

6. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen 1 - 5 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että Al-pitoinen kerros (4) valmistetaan DC-magnetronisputteroinnilla.

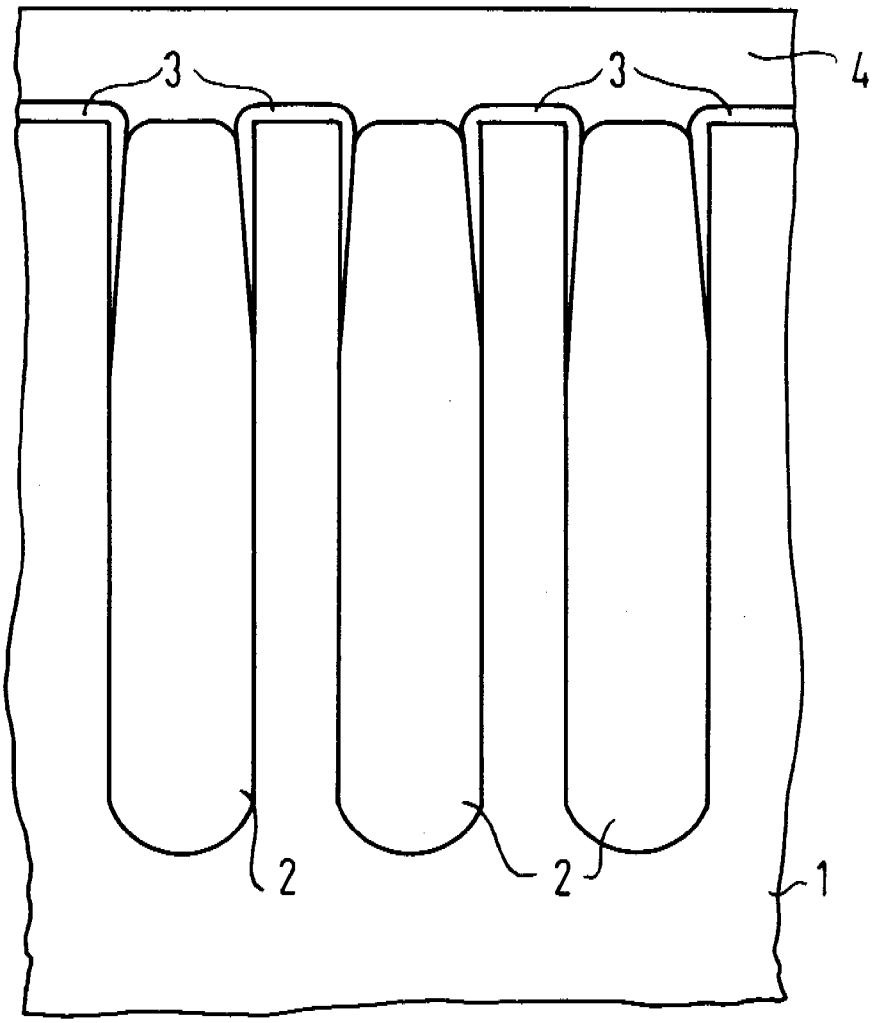
7. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen 1 - 6 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että substraatin (1) pinnalla on piitä.

8. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen 1 - 7 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että substraatille (1) ensin kerrostetaan puhdasta titaania oleva välikerros ja TiN:ä oleva estokerros (3), jonka päälle alumiinipitoinen kerros (4) kerrostetaan.

9. Patenttivaatimuksen 8 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että kerrostetaan välikerros paksuuteen 20 - 30 nm ja estokerros paksuuteen 100 - 150 nm substraatin lämpötilassa, joka on välillä 200 - 400 °C.

10. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen 1 - 9 mukaisen menetelmän käyttö Al-pitoisen kerroksen valmistamiseksi tasomaisella pinnalla n-seostetun piisubstraatin pinnalle, jolloin substraattiin on muodostettu reikärakenteita sähkökemiallisella syövytyksellä fluoridipitoisessa, happamassa elektrolyytissä, jossa piisubstraatti on kytketty anodiksi.

11. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen 1 - 9 mukaisen menetelmän käyttö Al-pitoisen kerroksen valmistamiseksi tasomaisella pinnalla kontaktiksi kondensaattoria varten, joka käsittää n-seostetun piisubstraatin, jolloin substraattiin on muodostettu reikärakenteita sähkökemiallisella syövytyksellä fluoridipitoisessa, happamassa elektrolyytissä, jossa piisubstraatti on kytketty anodiksi, reikärakenteiden pinnalle järjestetyn eristekerroksen, ja seostetun polypiikerroksen, joka on järjestetty eristekerroksen pinnalle ja jolla on reikärakenteen muoto, jolloin Al-pitoinen kerros levitetään polypiikerroksen pinnalle.


3
3
4
2
2
1

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS **TUTKIMUSRAPORTTI**
Patentti- ja innovaatiolinja

PATENTTIHAKEMUS NRO	LUOKITUS
932295	H01L 21/285, 21/3205

TUTKITTU AINEISTO
Patenttijulkaisukokoelma (FI, SE, NO, DK, DE, CH, EP, WO, GB, US), tutkitut luokat
Tiedonhaut ja muu aineisto

VIITEJULKAISUT

Kategoria*)	Julkaisun tunnistetiedot	Koskee vaatimuksia
	US-A-5 108 570, C23C 14/34, Applied Materials Inc. Proceedings 5th International IEEE VLSI Multilevel Interconnection Conference, Santa Clara, June 1988, Tsann Lin et al, "Effects of Ti-containing underlayers on planarization and microstructure of magnetron sputtered Al-Cu thin films", sivut 76-84	

*) X Patentoitavuuden kannalta merkittävä julkaisu yksinään tarkasteltuna
Y Patentoitavuuden kannalta merkittävä julkaisu, kun otetaan huomioon tämä ja yksi tai useampi samaan kategoriaan kuuluva julkaisu
A Yleistä tekniikan tasoa edustava julkaisu, ei kuitenkaan patentoitavuuden este

Päiväys	Tutkija
30.5.2003	TAPANI SALONEN