(19)

SUOMI - FINLAND
(FI)

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

(10) **FI 881129 A7**

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

(21) Patenttihakemus - Patentansökan - Patent application 881129

(51) Kansainvälinen patenttiluokitus - Internationell patentklassifikation - International patent classification
H01C 7/12

(22) Tekemispäivä - Ingivningsdag - Filing date **08.07.1987**

(23) Saapumispäivä - Ankomstdag - Reception date **10.03.1988**

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig - Available to the public **10.03.1988**

(43) Julkaisupäivä - Publiceringsdag - Publication date **12.06.2019**

(86) Kansainvälinen hakemus - Internationell ansökan - International application **08.07.1987 PCT/US1987/001579**

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

10.07.1986 US 883933

(71) Hakija - Sökande - Applicant

1 •**Eos Technologies, Inc.,** 122 East 42nd Street, Suite 4400 New York, N.Y., USA, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

(72) Keksijä - Uppfinnare - Inventor

1 •**Hyatt, Hugh Marvin,** USA, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)
2 •**Shrier, Karen Pamela,** USA, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

(74) Asiamies - Ombud - Agent

Kolster Oy Ab, Salmisaarenaukio 1, 00180 Helsinki

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning - Title of the invention
Suojamateriaali ja -menetelmä sähköistä ylikuormitusta vastaan.
Skyddsmaterial och -förfarande mot elektrisk överbelastning.

26

Suojamateriaali ja -menetelmä sähköistä ylikuormitusta varten

Keksinnön taustaa

Keksinnön alue

Esillä olevan keksinnön kohteena on yleensä elektronisten laitteiden suojaaminen sähköisiltä ylirasituksilta, ja yksityiskohtaisemmin tarkasteltuna esillä oleva keksintö kohdistuu elektronisten laitteiden suojaamiseen nousuajoiltaan erittäin nopeilta ylirasitustransienteilta, joilla on korkea huipputeho.

Aikaisemmin tunnettu tekniikka

On hyvin tunnettu tosiasia, että elektroninen virtapiiri on suojattava sysäysjänniteiltä ja tasausvirroilta, jotka ylittävät kyseisen virtapiirin kapasiteetin. Tällaiset sähköiset transientit voivat vahingoittaa virtapiiriä ja aiheuttaa virheellisyyksiä sen toiminnassa. Erityisesti nykyaikaisten elektronisten tietoliikenne- ja valvontajärjestelmien yhteydessä, joiden puolijohdekomponentit ovat erittäin herkkiä liiallisille virroille ja jännitteille, vaaditaan suojaa sähköisiä ylirasitushäiriöitä vastaan.

Useita erilaisia laitteita ja menetelmiä tunnetaan suojan saamiseksi rajoitettuja sähköisiä ylirasituksia vastaan. Perustavanlaatuisimpana toimenpiteenä on tunnettua suojata elektroniset laitteet sähkömagneettisilta transienteilta maadoitettujen johdinsuojuskoteloiden avulla. Tällainen suojaus ei kuitenkaan suojaa elektronisia laitteita hetkellisiltä sähköisiltä ylirasitushäiriöiltä, jotka tunkeutuvat suojattuihin virtapiireihin liitäntäjohdinlinjojen kautta. Virtapiirin suojaamiseksi tällaisilta hetkellisiltä ylirasitushäiriöiltä on yleensä käytetty useita erilaisia suojalaitteita joko yhdessä tai erikseen. Tällaiset laitteen käsittävät sulakkeet, kipinävälit, varistorit, zenerdiodit, transzorbit, ohutkalvolaitteet, ohituskondensaattorit, induktorit ja suodattimet. Näitä laitteita kutsutaan usein

jännitevaimentimiksi tai -pidättimiksi, mutta niiden voidaan yleensä myös sanoa olevan sähköiseltä ylirasitukselta (EOS) suojaavia laitteita. Käytännössä nämä EOS-suojalaitteet liitetään suojattavan virtapiirin ja maadoituksen väliin tai suojattavaan virtapiiriin johtavan liitäntäjohdon ja maadoituksen väliin. Niiden tarkoituksena on ohitusliittää EOS-transientit maahan ennen kuin näiden transienttien aiheuttama energia pääsee vahingoittamaan suojattavaa virtapiiriä.

Esillä olevia tarkoituksia varten voidaan EOS-transientin määritellä olevan hetkellinen jännite- tai virtatila, joka voi vahingoittaa tai häiritä virtapiirien normaalia toimintaa. Käytännössä esiintyvät sähköiset ylirasitustransientit voivat aiheuttua sähkömagneettisesta pulssista (EMP), salamasta tai sähköstaattisesta purkauksesta (ESD). Tällaiset transientit voivat saavuttaa maksimiamplitudinsa muutamista nanosekunneista useisiin mikrosekunteihin olevana aikana, ja ne voivat olla toistuvia. Seuraavassa näitä EOS-transientteja kutsutaan toisinaan pulsseiksi ja syöksyaalloiksi.

Yleisenä esimerkkinä ESD-ylirasitustransientin esiintymisestä voidaan pitää tilannetta, jolloin matoilla varustetuissa toimistoissa työskentelevät sähköä eristävään vaatetukseen pukeutuneet henkilöt aiheuttavat staattista sähköisyyttä. ESD-transientit voivat purkauksen yhteydessä sisältää yli 20 000 voltin jännitteitä ja yli 40 ampeerin virranvoimakkuuksia. Tällaiset transientit saattavat häiritä tietokoneiden ja muiden elektronisten laitteiden sisältämien elektronisten komponenttien toimintaa tai tuhota ne. ESD-transientit voivat saavuttaa huippupurkausjännitteet muutamia nanosekunteja lyhyemmässä ajassa, jolloin ne ovat nopeampia kuin tavanomaiset ylirasitukselta suojaavat laitteet.

Salama on toisena esimerkkinä EOS-transientista, joka voi vaikuttaa haitallisesti elektronisiin virtapiireihin. Muutamien kilometrien päähän iskevä salama

saattaa säteillä riittävästi sähkömagneettista energiaa aiheuttaakseen useiden tuhansien volttien pulssiamplitudit vahvavirtajohtoihin. Salamien aiheuttamien transienttien huippuarvon saavuttamiseen tarvittava aika on yleensä useita mikrosekunteja ja siten tällaiset transientit ovat useita tuhansia kertoja ESD-transientteja hitaampia.

EMP-transientit syntyvät ydinaseiden tai muiden suurenergiaa kohdistavien laitteiden vaikutuksesta. Esimerkiksi ydinräjähdys voi synnyttää yli 50 000 V/m olevat sähkökentät yli 600 mailin (965 km) säteellä. Tällaisten kenttien huippuamplitudit voidaan saavuttaa muutamissa nanosekunneissa ja tuloksena olevat EOS-transientit voivat tehdä tietoliikennelaitteiston samoin kuin muutkin elektroniset laitteet toimintakelvottomiksi.

EMP:n aiheuttamia vaaratekijöitä mikroelektronisille komponenteille, erityisesti liitoskanavatransistoreille ja mikroaaltodiodeille, selostavat H. R. Philipp ja L. M. Levinson artikkelissa "NbO Devices for Subnanosecond Transient Protection" J. App. Phys. 50(7), heinäkuu 1979. Tämän artikkelin kirjoittajat painottavat sitä, että tavanomaiset laitteet on tarkoitettu suojaamaan pientaajuuspiirejä salamaa tai kytkentäsyöksyaaltoja vastaan, eivätkä ne anna riittävää suojaa nousuajaltaan nopeita EMP-transientteja vastaan. (Käsite "nousuaika" tarkoittaa sitä aikaa, joka vaaditaan, että transientti saavuttaisi maksimiamplitudinsa.)

Yksinkertaisena esimerkkinä sähköhäiriöiltä suojaavasta laitteesta on sulake. Sulakkeet reagoivat herkästi virran kulkuun virtajohdoissa, ja virranvoimakkuuden ollessa korkea ne kuumenevat rikkoutumispisteeseen asti, minkä jälkeen sulakkeet luovat avoimen virtapiiritilan. Koska kuumentuminen vaatii huomattavasti aikaa, ei sulakkeita voida käyttää tilanteissa, joiden yhteydessä edellytetään erittäin nopeita reagointiaikoja. Sulakkeet eivät esimerkiksi reagoi riittävän

tehokkaasti EOS-transientteihin, joiden nousuajat ovat muutamia mikrosekunteja. Lisäksi sulakkeita ei voida käyttää useissa sähköiseltä ylirasitukselta suojaavissa tilanteissa, koska reagoituaan EOS-tilaan sulakkeet väistämättä ja lopullisesti rikkoutuvat, ja ne on vaihdettava. Sulakkeiden suotavampana ominaisuutena olisi niiden suojauskykyjen automaattinen palautuminen niiden suojattua kyseistä virtapiiriä EOS-transientin vaikutukselta.

Itse asiassa kyky suojaavien ominaisuuksien automaattisen palautumiseen on jossain määrin olemassa useissa tavanomaisissa ylirasitukselta suojaavissa laitteissa, erityisesti varistoreissa. Varistoreilla on tavallisesti jännitteen "tasolukituksena" tunnettu ominaisuus. Tasolukitusarvon alittavien jännitteiden yhteydessä varistori saa aikaan suuren vastuksen toimien siten olennaisesti avoimena virtapiirinä. Toisaalta tasolukitusarvon huomattavasti ylittävien jännitteiden yhteydessä varistori saa aikaan huomattavasti vähentyneen vastuksen ohikytkien amplitudiltaan suuret sähköiset transientit maahan. Siten, kun varistori on liitetty signaaleja siirtävään johdinlinjaan, ei varistori vaikuta linjassa tavanomaisilla jännitetasoilla siirrettyihin signaaleihin, mutta ohikytkee sen sijaan amplitudiltaan korkeat EOS-häiriöt, ainakin ne, joilla on suhteellisen hitaat nousuajat.

Ominaisuutta saada aikaan suuri vastus tasolukitusarvon alittavien jännitteiden yhteydessä ja pieni vastus tasolukitusarvon ylittäviä jännitteitä varten kutsutaan tässä yhteydessä epälineaariseksi vastukseksi (NLR). Useilla materiaaleilla tiedetään olevan NLR-ominaisuudet; tavallisena esimerkkinä voidaan mainita sinkkioksidi. Tällaisia materiaaleja käytetään lukuisissa ylirasitukselta suojaavissa laitteissa. Varistoreita tehdään usein sinkkioksidiaineosista. Kun tällaiset materiaalit ovat suurvastustilassa, kutsutaan tätä

tilaa "off-tilaksi", ja kun materiaalit ovat pienvastustilassa, niiden tilaa sanotaan "on-tilaksi".

Kaupallisesti on saatavissa varistoreja, joilla on riittävät kapasiteetit suojata ylirasitukselta suhteellisen suuria transienttienergian määriä vastaan, joita esiintyy esimerkiksi salamasyöksyaaltojen yhteydessä. Varistorien eräänä puutteena on kuitenkin niiden suhteellisen korkea kapasitanssi, joka viivästyttää reagointiaikoja. Varistorien rakennetta ja toimintaa on selostettu käsikirjassa "The Transient Voltage Suppression Manual", neljäs painos, General Electric Company, USA, 1983. Tämän käsikirjan mukaisesti varistorien kapasiteetti on riittävä käsittelemään jopa 200 joulen energiaa aina 6000 ampeeriin virranvoimakkuuksiin asti. Varistorimateriaalin mikrorakenne käsittää sintratusta metallioksidijauheesta tehdyt rakeet, jolloin jännitehäviöt rakeiden välisissä rajapinnoissa on lähes vakio, tavallisesti noin 2-3 V rakeen rajaliitosta kohti raekoosta riippumatta.

Eräs erityinen varistorimateriaali selostetaan US-patenttijulkaisussa nro 4 103 274. Tämän patenttijulkaisun mukainen varistori voidaan valmistaa monikiteisistä metallioksidimateriaaleista ja erityisesti muovihartsisideaineessa olevista yhdistetyistä metallioksidin keraamisista aineosista.

Useat muutkin elektronisisten virtapiirien yhteydessä käytetyt laitteet käyttäytyvät NLR:n tavoin ja niitä on käytetty sähköisen ylirasitussuojan aikaansaamiseksi. Tyypillisinä esimerkkeinä tällaisista laitteista voidaan mainita puolijohdediodit, transistorit ja zenerdiodit. Erityisesti zenerdiodeilla on kyky tarjota käyttöön lähes ääretön vastus siihen asti, kunnes käytetty jännite saavuttaa tietyn kynnysarvon, vastuksen suuruuden vähetessä sen jälkeen nopeasti. Vaikka zenerdiodit ovatkin reagointiajaltaan suhteellisen nopeita muihin ylirasitukselta suojaaviin laittei-

siin verrattuina, niillä on kuitenkin hieman kapasitanssia ja siten esiintyy huomattavia aikaviiveitä EOS-transienttien yhteydessä, joiden nousuajat mitataan nanosekunneissa tai vieläkin lyhyemmillä aikayksiköillä. Lisäksi zenerdiodeilla on käytännössä suhteellisen rajoitetut käyttöalueet eikä niiden avulla kyetä käsittelemään suuria energiamääriä.

Zenerdiodien ja muiden tavallisesti käytettyjen EOS-suojalaitteiden yhteydessä esiintyy tavallisesti huomattava "ylitys" nopeuden transienttien, kuten esimerkiksi EMP:n aiheuttamien transienttien, ollessa kysymyksessä. Käsite "ylitys" tarkoittaa sitä määrää, jolla hetkellinen jännite ylittää ylirasitukselta suojaavan laitteen tasolukitusjännitteen ennen sitä hetkeä, jolloin kyseinen laite tulee sähköä johtavaksi. Esimerkiksi diodeissa voi syntyä ylitystä johtimien induktanssin sekä sen ajan johdosta, joka vaaditaan diodien p-n liitosdiffuusiokerrosten varaamista varten. Koska ylirasitukselta suojaavaan laitteeseen liitetty virtapiiri voi vahingoittua ylitysajan aikana, olisi ylitys tavallisesti minimoitava sekä määrällisesti että kestoltaan.

Kipinävälilaitteilla on myös suhteellisen huomattavat energiakäsittelykyvyt EOS-suojelua varten. Käytännössä kipinävälit johtavat sähköä muodostamalla erittäin ionisoituneet johdinkanavat, joiden vastus on miltei olematon. Koska jopa muutamien mikrosekuntien pituiset ajanjaksot vaaditaan, että kipinävälilaitteet kykenesivät absorboimaan riittävästi energiaa tällaisten kanavien muodostamiseksi, esiintyy kipinävälilaitteiden yhteydessä huomattava ylitys ennen suuren johtavuuden saavuttamista. Lisäksi sen jälkeen kun kipinävälilaite on tullut sähköä johtavaksi pienvastustasoilla, se voi aiheuttaa oikosulun suojatuissa virtapiireissä.

EOS-suojaa varten käytetyt ohutkalvolaitteet käsittävät useita erillisiä puolijohdemateriaaleja, joissa virta kulkee kapeissa kanavissa. Kanavien koko on tavallisesti vain submikronin - mikronin suuruinen ja siten kanavat kykenevät absorboimaan vain suhteellisen pieniä energiamääriä ennen tuloaan termisesti rajoitetuiksi. Käytännössä ohutkalvolaitteissa esiintyy huomattava ylitys ja ne voivat kadottaa palauttamisominaisuutensa reagoituaan tällaisten transienttien suhteellisen pieneen määrään.

Suodattimet käsittävät tavallisesti resistorien, kondensaattorien, induktorien ja puolijohde-elementtien, kuten diodien, transistorien ja käyttövahvistimien, muodostamat yhdistelmät. Suodattimilla on rajoitettu käyttöalue voimakkailta EOS-transienteilta suojaamisen yhteydessä, koska suodattimet sallivat nimensä mukaisesti tiettyjen taajuuksien läpikulun, estäen sen muilta taajuuksilta. Esimerkiksi kondensaattorit johtavat suurtaajuussignaaleja, mutta estävät pientaajuussignaalien kauttakulun. Koska useat nousuajaltaan nopeat transientit sisältävät laajat taajuuskaistat, joissa on erittäin korkeita ja matalia taajuuskomponentteja, antavat tavanomaiset suodattimet riittämättömän EOS-suojan.

Edellä selostetun perusteella voidaan ymmärtää, että tavanomaiset laitteet ja meteriaalit tarjoavat riittämättömän suojan sähköisiä hetkellisiä häiriöitä vastaan, joiden nousuajat ovat alle muutaman nanosekunnin ja joiden taajuus vaihtelee laajoissa rajoissa. Lisäksi yksittäisillä ylirasitussuojalaitetyypeillä on omat haittansa, erityisesti sen johdosta, että ne eivät kykene palauttamaan itselleen suojaominaisuuksia jouduttuaan toistuvien, energialtaan suurten ja nousuajoiltaan nopeiden EOS-transienttien alaisiksi.

Keksinnön tarkoitukset ja yhteenveto

Esillä olevan keksinnön pääasiallisena tarkoituksena ja etuna on tarjota käyttöön parannettu epälineaarinen vastusmateriaali virtapiirien suojelemiseksi toistuvilta sähköisiltä transienteilta, joiden nousuajat ovat jopa vain muutamia nanosekunteja tai tätä lyhyempiä.

Yksityiskohtaisemmin tarkastellen esillä olevan keksinnön tarkoituksena ja etuna on tarjota epälineaarisilla vastusominaisuuksilla varustettu sähköisiltä ylirasituksilta suojaava materiaali, joka kykenee toistuvasti reagoimaan nousuajaltaan muutamia nanosekunteja oleviin transientteihin ja sisältää minimaalisen tai valvottavissa olevan ylityksen sekä kapasiteetin huomattavan energiamäärän käsittelyä varten.

Vielä yksityiskohtaisemmin tarkasteltuna esillä olevan keksinnön tarkoituksena ja etuna on tarjota käyttöön ominaisuuksiltaan kuvatunlainen epälineaarinen vastusmateriaali, jota voidaan valikoivasti muunnella erilaiset koostumukset tai geometriset mitat valitsemalla tasolukittumaan valikoivalla tavalla viidestä (5) kymmeneen tuhanteen (10 000) olevien volttien yhteydessä.

Yhteenvetona voidaan sanoa, että esillä oleva keksintö tarjoaa käyttöön sähköisiltä ylirasituksilta suojaamista varten tarkoitetun epälineaarisen vastusmateriaalin, joka käsittää kooltaan alle noin useita satoja mikroneja olevien erillisten sähköä johtavasta materiaalista tehtyjen hiukkasten, kooltaan myös alle noin useita satoja mikroneita olevien puolijohdemateriaaleista tehtyjen erillisten hiukkasten ja näitä erillisiä hiukkasia päällystävän eristysmateriaalin muodostaman tavallisesti homogeenisen seoksen. Hiukkaset sekoitetaan yleensä homogeenisesti matriisin sisällä lukemattomien hiukkasketjujen muodostamiseksi, hiukkasten välisten etäisyyksien ollessa riittävän

pieniä huomattavan johtavuuden mahdollistamiseksi hiukkasten välillä elektronien kvanttimekaanisen tunneloitumisen avulla. Suositeltava sovellutusmuodossa esillä olevan keksinnön mukainen materiaali sisältää lisäksi sideaine- tai pakkausmateriaalin, jossa sähköä johtavan materiaalin ja puolijohdemateriaalin hiukkaset on yleensä sekoitettu homogeenisesti keskenään.

Esillä oleva keksintö tarjoaa edelleen käyttöön prosessin epälineaarisen vastusmateriaalin muuttamiseksi antamaan suoja nousuajoiltaan jopa alle muutaman nanosekunnin tai vieläkin vähemmän olevien sähköisiä transientteja vastaan, tämän prosessin käsittäessä sähköä johtavista ja puolijohdemateriaaleista tehtyjen erillisten hiukkasten valmistamisen, näiden hiukkasten kokojen ollessa alle noin useita satoja mikroneita; kunkin hiukkasen päällystämisen erikseen eristysmateriaalilla, päällysteen syvyyden ollessa alle useita satoja Ångström-yksiköitä; sekä johtavasta materiaalista tehtyjen päällystettyjen hiukkasten ja puolijohdemateriaalista tehtyjen päällystettyjen hiukkasten sekoittamisen keskenään yleensä homogeenisen matriisin muodostamiseksi, jossa on lukemattomia lähellä toisiaan olevien hiukkasten muodostamia ketjuja huomattavan elektronisiirron mahdollistamiseksi vierekkäisten hiukkasten välillä kvanttimekaanisen tunneloitumisen välityksellä reaktiona esiintyviin sähköisiin transientteihin.

Esillä olevan keksinnön mukaisen ylirasituksilta suojaavan materiaalin erityisenä etuna on se, että se voidaan valmistaa helposti useissa erilaisissa muodoissa liitäntää varten erilaisiin sähköisiin ja elektronisiin laitteisiin, kuten antenneihin, sähköisiin ja elektronisiin piireihin, keskinäisliitäntälaitteistoihin, painettuihin piirilevyihin sekä mikropiirielementteihin.

Esillä olevan keksinnön muut tarkoitukset ja edut voivat alaan perehtyneet henkilöt tunnistaa seuraavasta selostuksesta ja oheisista piirustuksista, jotka esittävät esimerkin tavoin esillä olevan keksinnön suositeltavaa sovellutusmuotoa.

Piirustuksien lyhyt kuvaus

Kuvio 1 esittää kaaviomaisesti suurennetussa mittakaavassa esillä olevan keksinnön mukaisen materiaalin poikkileikkausta;

kuvio 2 esittää katkonaiskuvantoa vielä suuremmassa mittakaavassa kuvion 1 esittämästä materiaalista;

kuvio 3 esittää graafisesti tasolukitusjännitteen ja sähköä johtavan materiaalin painon välistä suhdetta kuvion 1 mukaisen materiaalin erästä erityistä muunnelmaa varten;

kuvio 4 esittää graafisesti off-tilavastuksen ja polymeeripitoisuuden (painon) välistä suhdetta kuvion 1 mukaisen materiaalin erästä toista erityistä muunnelmaa varten;

kuvio 5 esittää graafisesti jännitteen ja sen ajan välistä suhdetta, jonka kestäessä tyypillinen ylirasitus kohdistuu erilaisiin ylirasitukselta suojaaviin laitteisiin ja materiaaleihin esillä olevan keksinnön mukainen materiaali mukaanlukien;

kuvio 6 esittää kaavamaisesti kuvion 1 esittämästä materiaalista valmistettua ylirasitukselta suojaavaa laitetta; ja

kuvio 7 esittää kaavamaisesti potentiaalihäviöitä kuvion 1 esittämän materiaalin sisältämien hiukkasten välillä.

Suositeltavan sovellutusmuodon yksityiskohtainen selostus

Kuten kuviosta 1 näkyy, käsittää esillä olevan keksinnön mukainen ylirastukselta suojaava materiaali yleensä numerolla 9 merkityn, umpimähkäisesti sekoitettujen ja lähekkäin olevien erillisten johtavien hiukkas-

ten 11 ja puolijohdehiukkasten 13 muodostaman matriisin, näiden hiukkasten ollessa kuitenkin rakenteellisesti erotettuina toisistaan eristysmateriaalin 15 välityksellä, joka on kyllin ohut salliakseen elektronien kvanttimekaanisen tunneloitumisen hiukkasten 11 ja 13 välillä. Sähköä johtavien hiukkasten 11 ja puolijohdehiukkasten 13 välitilavuudet on täytetty sideainemateriaalilla 19. Kuvion 1 esittämä matriisimateriaalin 9 osa pidetään ylemmän ja alemman levymäisen metallisen elektrodin 21 ja vastaavasti 23 välissä. On otettava huomioon, että molempia elektrodeja 21 ja 23 erottava matriisi 9 on mitoiltaan monikertainen hiukkasten 11 ja 13 kokoihin verrattuna. Elektrodien 21 ja 23 muoto voidaan valita vapaasti.

Matriisimateriaalin 9 toiminnan yleiseksi ymmärtämiseksi voidaan olettaa, että elektrodi 21 on liitetty EOS-transianteilta suojattavaan johdotukseen ja elektrodi 23 järjestelmämaadoitukseen. Siten matriisimateriaali 9 toimii välielementtinä elektrodien 21 ja 23 välillä.

Matriisimateriaalin 9 ominaisuudet sisältävät suuren vastuksen (tavallisesti yli 10^9 ohmia/cm) off-tilassa ja pienen vastuksen (tavallisesti noin 1-1000 ohmia/cm) on-tilassa. Lisäksi matriisimateriaali 9 kykenee siirtymään off-tilasta on-tilaan alle yhden nanosekunnin aikana reagoidessaan nousuajoiltaan subnanosekunnin pituisiin EOS-transientteihin. Tällaiset matriisimateriaalin 9 reagoinnit voivat tapahtua ilman huomattavampaa ylitystä. Lisäksi matriisimateriaalilla 9 on hämmästyttävä ominaisuus säilyttää siirtymäkykynsä on- ja off-tilojen välillä oltuaan jännitteiltään jopa 50 000 voltin suuruisten toistuvien suurenergiatransienttien alaisena.

Matriisimateriaalin 9 sisältämät johtavat hiukkaset 11 ovat kooltaan alle 100 mikronia ja ne voivat olla kooltaan vain noin 100 Ångström-yksikköä hiilimusta-

jauheen ollessa kysymyksessä. Suositeltavana hiukkaskokoalueena puolijohdehiukkasia 13 varten on yleensä noin 1/10-100 mikronia vain suhteellisen harvojen hiukkasten ollessa tämän alueen ulkopuolella. Käytännössä tämän alueen ylärajan ylittävien hiukkasten määrä minimoidaan, koska suuremmat hiukkaset pyrkivät muodostamaan yksittäisiä johtavuusväyliä, jotka vaikuttavat haitallisesti matriisimateriaalin 9 ominaisuuksiin, erityisesti sen toistuvien transienttien kestokykyyn, jolloin voisi tapahtua katastrofaalinen dielektrinen läpilyönti.

Kuten kuviosta 2 parhaiten näkyy, on sähköä johtavat hiukkaset 11 ja puolijohdehiukkaset 13 päällystetty yksiköllisesti sähköisellä eristysmateriaalilla 15. Käytännössä tämä eristysmateriaali 15 voi itse käsittää kooltaan noin 70-300 Ångström-yksikköä olevat hiukkaset. Tällöin nämä eristysmateriaalihiukkaset ovat kooltaan noin 1/10-1/10 000 päällystetyistä sähköä johtavista ja puolijohdehiukkasista 11 ja 13.

Käytännössä sähköä johtavat hiukkaset 11 on sopivimmin tehty karbonyylinikkelistä, erityisesti INCO tyyppiä 255 olevasta karbonyylinikkelijauheesta. Matriisimateriaalissa 9 käytettävät sähköä johtavat hiukkaset 11 voivat olla tehtyinä myös muista käyttökelpoisista johtavista materiaaleista, kuten tantalikarbidista, titaanikarbidista, nikkelistä, joka ei ole karbonyylinikkeliä, volframikarbidista, boronikarbidista, sirkoniumkarbidista, hiilimustasta, grafiitista, kuparista, alumiinista, molybdeenistä, hopeasta, kullasta, sinkistä, messingistä, kadmiumista, pronssista, raudasta, tinaberylliumista, lyijystä, borideista ja Mu-metallista.

Sähköä johtavan materiaalin, josta johtavat hiukkaset 11 tehdään, on oltava ominaisvastukseltaan noin 10^{-1}-10^{-6} ohmia/cm. Eräiden sopivien materiaalien ominaisvastukset ovat seuraavat:

1×10^{-4}	ohmia/cm	titaanikarbidi
7×10^{-5}	ohmia/cm	niobikarbidi
2×10^{-5}	ohmia/cm	tantalikarbidi
1×10^{-5}	ohmia/cm	volframikarbidi
6×10^{-5}	ohmia/cm	sirkoniumkarbidi

Joidenkin sovellutusten yhteydessä on edullista muodostaa sähköä johtavat hiukkaset 11 metallisilisideistä, koska tällaisilla materiaaleilla on metallin kaltaiset ominaisvastukset ja vakavuus korkeissa lämpötiloissa. Useita metallisilisidejä, jotka ovat sopivia johtavia hiukkasia 11 varten, on selostettu julkaisussa Silicides for VLSI Application, S. P. Murarka (Academic Press, 1983), ss. 30 ja 31.

Kuviot 1 ja 2 esittävät sovellutusmuotoa, jossa johtavilla ja puolijohdehiukkasilla 11 ja 13 on yleensä epäsäännölliset muodot, niiden sisältäessä useita teräviä kärkiä tai piikkejä. Tällaiset muodot sisältävät nimittäin tiettyjä etuja. Piikikkäissä materiaaleissa, kuten karbonyylinikkelissä, hiukkasten väliset sähkökentät lisääntyvät ja siten johtavuus matriisimateriaalissa 9 paranee. Kenttälisäyksen erityisenä etuna on se, että se lisää matriisimateriaalin 9 vaihtumisnopeutta off- ja on-tilojen välillä nousuajoiltaan nopeisiin EOS-transientteihin reagoinnin yhteydessä.

Puolijohdehiukkaset 13 voivat käsittää minkä tahansa tavanomaisen puolijohdemateriaalin. Suositeltavia materiaaleja ovat piikarbidi, betylliumkarbidi, kalsiumoksidi, kalkogenidit, kyllästetty pii, niobiumoksidi, vanadiumoksidit, indiumantimonidi, rautaoksidi, boronikarbidi, seleeni, lyijysulfidi, lyijyterruridi, kadmiumsulfidi, sinkkisulfidi, hopeasulfidi, titaanidioksidi, boroni, telluriumi, germaniumi ja vanadiinikarbidi. Orgaanisia ja sooligeeliprosessin avulla valmistettuja puolijohteita voidaan myös käyttää.

Kuvio 3 esittää matriisimateriaalin 9 eri koostumusten vaikutusta tasolukitusjännitteeseen, näiden koos-

tumusten ollessa ilmaistuina johtavan ja puolijohdemateriaalin prosenttilukuina. Tasolukitusjännitteet mitattiin 1000 voltin pulssin toistuvan käytön perusteella. Näissä kokeissa käytetty erityinen matriisimateriaali käsitti vain nikkeliä johtavana materiaalina ja piikarbidia puolijohdemateriaalina. Koetulokset osoittavat, että tasolukitusjännite on likimäärin kyseisen transientin suuruinen, kunnes sähköä johtavan materiaalin prosentuaalinen pitoisuus ylittää noin kymmenen prosenttia (10 %). Jos sähköä johtavien hiukkasten suhteellinen prosenttiosuus ylittää noin viisikymmentä prosenttia (50 %), vähenee tasolukitusjännite kyseisen pulssin suhteellisen pieneksi osafraktioksi.

Yleensä ottaen on hiukkaset 11 ja 13 päällystävä eristysmateriaali 15 tehtävä kyllin ohueksi kvanttimekaanisen tunneloitumisen mahdollistamiseksi vierekkäisten toisiaan lähellä olevien hiukkasten välillä ilman katastrofaalista dielektristä läpilyöntiä. (Katastrofaalinen dielektrinen läpilyönti merkitsee tässä yhteydessä oikosulkuväylien väistämätöntä muodostumista matriisimateriaaliin 9.) Sopiva eristyamateriaali 15 voi olla pienten hiukkasten tai ohuiden kalvomaisten päällysteiden muodossa. Kalvomainen päällyste voidaan valmistaa antamalla esimerkiksi sähköä johtavien hiukkasten 11 reagoida hapen läsnäollessa metallioksideja käsittävien pintakerrosten muodostamiseksi hiukkasten päälle. (Tällaiset reaktiot suoritetaan tietenkin ennen sähköä johtavien hiukkasten 11 sekoittamista matriisimateriaalissa 9.) Myös eristysmateriaalin 15 on oltava tyypiltään sellaista, että se kykenee pysymään matriisimateriaalissa 9 reagoimatta kemiallisesti matriisin muiden materiaalien kanssa.

Käytännössä eristysmateriaali 15 on sopivimmin tyypiltään höyrytettyä piidioksidia, jota on esimerkiksi saatavissa kauppanimellä Cab-O-Sil varustettuna. Muita sopivia eristysmateriaaleja ovat kaoliini, kaoli-

niitti, alumiinitrihydraatti, maasälpä, kvartsin erilliset muodot, lasipallot, kalsiumkarbonaatti, bariumsulfaatti, kalsiumsulfaatti ja erilaiset öljyt.

Eristysmateriaalin 15 eräänä tehtävänä on saada aikaan tarkasti valvottu rakenteellinen erottuminen sähköä johtavien hiukkasten 11 ja puolijohdehiukkasten 13 välillä. Matriisimateriaalin 9 edullisten ominaisuuksien täydellistä saavuttamista varten olisi suuri määrä johtavia hiukkaisa 11 ja puolijohdehiukkasia 13 vain erotettava toisistaan pituudeltaan noin viidestäkymmenestä (50) useisiin satoihin Ångström-yksiköihin olevien etäisyyksien päähän. Paras mahdollinen hiukkasten välinen etäisyysjaoettelu on riippuvainen niistä elementeistä, joista sähköä johtavat ja puolijohdehiukkaset on muodostettu, sekä todennäköisesti esiintyvistä sähkökentistä. Joka tapauksessa huomattavan määrän hiukkasten välisiä etäisyyksiä olisi oltava riittävän pieniä sähkönjohtavuuden mahdollistamiseksi lähekkäin toistensa vieressä sijaitsevien johtavien hiukkasten 11 ja puolijohdehiukkasten 13 välillä elektronien kvanttimekaanisen tunneloitumisen avulla, keskimääräisesti runkomateriaalia varten, reaktiona sähköisiin transientteihin.

Jos eristysmateriaalia 21 ei käytetä, ei matriisimateriaali 9 palaudu suurvastustilaan energialtaan korkean ylirasitushäiriön jälkeen, vaan muodostaa sen sijaan suhteellisen pysyvän pienvastusohitusliitännän maahan. Matriisimateriaalin 9 kykyä reagoida energialtaan korkeisiin transientteihin ja palata sen jälkeen suurvastustilaan voidaan kutsua "selviytymiseksi".

Eristysmateriaalin 15 toisena tehtävänä on saada aikaan sähköä johtavien hiukkasten 11 riittävä fyysinen erottuminen toisistaan suuren off-tilavastuksen saavuttamiseksi. Jos eristysmateriaalia 15 ei käytetä, voisivat vierekkäiset johtavat hiukkaset 11 muodostaa sähköä johtavia ketjuja matriisimateriaalissa 9, jolloin

matriisimateriaalin 9 off-tilan massavastus tulisi liian pieneksi.

Sideainemateriaali 19 voi vaihdella jähmeässä tilassa olevista materiaaleista nestemäisiin materiaaleihin (kaasuihin tai nesteisiin). Jähmeässä tai puolijähmeässä tilassa oleva sideainemateriaali 19 saa aikaan hiukkasten väliset etäisyydet täyttäen myös hiukkasten 11 ja 13 väliset tyhjät tilat. Vaikka jähmeät sideainemateriaalit kykenevätkin saamaan aikaan mekaanisen sidonnan hiukkasten välille, ei tämä tekijä ole luonteeltaan kriittinen, mutta on kuitenkin suotavaa valmistaa matriisimateriaali 9 ennakolta erilaisina haluttuina kokoina ja muotoina liitäntää varten suojattavien komponenttien kanssa. Kun mekaanista sidontaa ei käytetä hiukkasten välillä, on otettava käyttöön rakenteellinen säiliökotelo matriisimateriaalia 9 varten. Säiliö- tai pakkaustyyppi voidaan valita vapaasti ja se voi olla myös tyypiltään tavanomainen. Sopivia pakkausmateriaaleja ovat rajoittamattomassa mielessä keraamiset materiaalit, epoksi, polymeeri, maali, öljy ja metalli. Eristävä säiliökotelo on varustettu tavallisesti elektrodeilla, jotka on asetettu sopivalla tavalla todellista kosketusta varten säiliökotelon sisältämän matriisimateriaalin 9 kanssa.

Yleensä ottaen sideainemateriaalina 19 toimii sähköä eristävä materiaali, jonka ominaisvastus on noin 10^{12}-10^{15} ohmia/cm. Käytännössä sideainemateriaalina toimii sopivimmin kuumassa kovettuva polymeeri, kuten epoksit, kestomuovit, kumi tai erilaiset polymeeriseokset. Sideainemateriaali 19 voi myös käsittää muita tavanomaisia sähköä eristäviä materiaaleja. Sopivina materiaaleina eri käyttötapauksia varten voidaan mainita keraamiset materiaalit, öljy, höyrytetty kvartsi ja jopa vesi, ilma, tyhjö ja erilaiset lasimateriaalit, kuten N_2 ja SF_6.

Koska sideaineena 19 on sähköinen eristysmateriaali, se voi vaikuttaa matriisimateriaalin 19 tasolukitusjännitteisiin. Esimerkiksi matriisimateriaalit, joilla on painoprosentiltaan sama koostumus puolijohdehiukkasia 13 ja sähköä johtavia hiukkasia 11, voivat saada aikaan erilaiset tasolukitusjännitteet käytetyn sideainemateriaalin 19 erityisestä tyypistä riippuen. Tämä vaikutus on pääasiassa sideainemateriaalin 19 dielektrisen vakion funktio. Siten sideainemateriaalin polymeerista valmistamisen etuna on se, että näin vähennetään matriisimateriaalin 9 dielektristä kokonaisvakiota, jonka olisi normaalisti oltava pieni, jos matriisimateriaalilta vaaditaan alhaista kapasitanssia. Suurempaa kapasitanssia vaadittaessa (kun matriisimateriaalia 9 käytetään esimerkiksi piirielementtien, kuten liuskajohtojen, PCB-materiaalien, kaapelien tai koaksiaaliliittimien yhteydessä tai muissa vastaavissa laitteissa, joiden yhteydessä siirtojohdon impedanssi on tärkeä), voidaan sideainemateriaalin 19 dielektristä vakiota valikoivasti lisätä halutun kapasitiivisen impedanssin saavuttamiseksi.

Sideainemateriaali 19 vaikuttaa myös matriisimateriaalin 9 off-tilavastukseen. Kuvio 4 esittää siten off-tilavastusta polymeerisideainemateriaalin 19 painoprosentin funktiona. On otettava huomioon, että kuvion 4 mukaisen graafisen esityksen pystyakseli on logaritminen. Matrisiin 9 off-tilavastuksen huomattavaa muutosta varten vaadittava sideainemateriaalin 19 määrä vaihtelee tavallisesti yli kymmenestä (10 %) noin kolmeenkymmeneenviiteen painoprosenttin (35 %), matriisimateriaalin 9 johtaessa suhteellisen hyvin sähköä siihen asti kun sideainemateriaalipitoisuus lisääntyy noin kolmeenkymmeneen painoprosenttiin (30 %).

Off- ja on-tilojen vastuksen valvomiseksi edelleen voidaan pehmentimiä ja liitäntäaineita lisätä sideainemateriaaliin 19. Käytännössä on havaittu, että

1-5 painoprosentin lisäys pehmennintä alueella 10 000 - 20 cps saa aikaan matriisimateriaalin 9 off-tilavastuksen muutoksen, jonka suuruus on jopa kuusi kymmenryhmää.

Matriisimateriaalin 9 erityisenä muunnelmaesimerkkinä voidaan mainita materiaali, joka sisältää painoprosentteina 2 % Cab-O-Sil:ia, 12 % karbonyylinikkeliä, 30 % epoksia ja 56 % piikarbidia. Vieläkin tyypillisempi esimerkki matriisimateriaalin 9 muunnelmasta sisältää 22,5 karbonyylinikkeliä, 43 % piikarbidia, 2,5 % Cab-O-Sil:ia ja 32 % epoksia. Näissä muunnelmissa on sähköä johtavat hiukkaset 11 muodostettu karbonyylinikkelistä, puolijohdehiukkaset 13 piikarbidista, eristysmateriaali 15 Cab-O-Sil:stä ja sideainemateriaali 19 epoksista. Tyypillisessä muunnelmassa matriisimateriaali 9 sisältäisi yleensä noin 1-50 painoprosenttia sähköä johtavia hiukkasia 11.

Esillä olevan keksinnön mukaisten materiaalien on osoitettu reagoivan hämmästyttävän tehokkaasti nousuajoiltaan alle noin 0,5 nanosekuntia oleviin sähköisiin ylirasitustransientteihin. Reagoidessaan EOS-transientteihin, joiden nousuajat eivät ole pitempiä kuin 0,3 nanosekuntia eivätkä lyhyempiä kuin 1-2 nanosekuntia, on matriisimateriaalin 9 useiden erilaisten muunnelmien yhteydessä havaittu, että mitään huomattavaa ylitystä ei tapahdu. Kuvio 5 esittää matriisimateriaalin 9 tyypillistä reagointia sähköisiin transienteihin, jotka sisältävät noin yhden (1) joulen energiaa. Lisäksi kuvio 5 esittää transienttilanteita, joita esiintyy, kun sama transientti kohdistetaan toisiin (tavanomaisiin) ylirasitukselta suojaaviin laitteisiin. Esimerkiksi käyrä "S" kuviossa 5 esittää jännitteitä, joita esiintyy tyypillisessä saman ylirasitustransientin alaisessa kipinävälilaitteessa. Käyrä "V" esittää taas jännitetilanteita, joita esiintyy saman transientin alaisessa tyypillisessä varistorissa. Sa-

malla tavoin käyrä "Z" esittää saman transientin alaisessa tyypillisessä zenerdiodissa esiintyviä jännitteitä.

Kuviossa 5 tulee matriisimateriaalia 9 esittävä käyrä "M" pian arvoltaan lähes vakioksi, tämän vakioarvon vastatessa tasolukitusarvoa V_c. On otettava huomioon, että tasolukitusjännitteen V_c arvo riippuu matriisimateriaalin 9 koostumuksesta sekä EOS-transientin sähköisistä ominaisuuksista sekä matriisimateriaalin suojakuormituksesta. Yleensä ottaen mitä suurempi matriisimateriaaliin 9 kohdistettu transientti on, sitä suurempi on myös tasolukitusjännitteen V_c arvo. On lisäksi otettava huomioon, että kuvion 5 mukaiset muut ylirasitukselta suojaavat laitteet lähestyvät myös tasolukitusjännitteiden arvoa, mutta ei niin nopeasti kuin matriisimateriaali 9. Lisäksi niiden tasolukitusjännitteiden suuruus, joita mainitut muut laitteet lähestyvät, ei tarvitse välttämättä olla sama kuin jännite V_c.

Kuvion 5 mukaisten tavanomaisten ylirasitukselta suojaavien laitteiden yhteydessä kipinävälilaitteessa esiintyy suurin ylitys, jolloin sen tasolujitusjännite ylitetään noin 1000 voltilla. Toiseksi suurin ylitys liittyy varistoriin, jonka yhteydessä tasolukitusjännitys ylitetään yli 400 voltilla. Toisaalta taas matriisimateriaalissa tapahtuva ylitys on mitätön.

Aikaa, jolloin jännite saavuttaa tasolukitusarvon reaktiona EOS-transienttiin voidaan kutsua "tasolukitusajaksi", ja ylirasituslaitteiden antaman suojan tehokkuus voidaan määriittää näiden tasolukitusaikojen perusteella. Kuviosta 5 näkyy, että zenerdiodin tasolukitusaika on noin kaksi nanosekuntia. Kuviosta voidaan havaita, että matriisimateriaali 9 tarjoaa käyttöön huomattavasti lyhyemmät tasolukitusajat kuin muut ylirasitukselta suojaavat laitteet ja materiaalit, joten se siten on niitä tehokkaampi. Kuvion 5 tähän

ominaispiirteeseen liittyen on korostettava sitä, että sama jännite kohdistettiin tavanomaisiin laitteisiin sekä matriisimateriaaliin 9, ja että nämä tavanomaiset laitteet valittiin edustamaan laitteita, joita käytettäisiin käytännössä samankaltaisissa olosuhteissa. Siten kuvio 5 esittää tavanomaisten laitteiden suhteellista suorituskykyä matriisimateriaaliin verrattuna.

Kuvio 6 esittää johdinlinjaa 51, jota suojellaan esillä olevan keksinnön mukaisesta matriisimateriaalista tehdyn, yleensä numerolla 53 merkityn laitteen avulla. Linjan 51 olisi ymmärrettävä olevan minkätyyppinen johdin tahansa, joka siirtää sähkösignaaleja tai virtaa EOS-suojaa tarvitsevaan verkostoon. Kuvion 6 esittämässä sovellutusmuodossa laite 53 käsittää matriisimateriaalista tehdyn onton lieriömäisen osan, joka on asetettu linjan 51 ja lieriömäisen vaipan 57 väliin, tämän lieriömäisen osan sisäpinnan ollessa fyysisessä kosketuksessa linjan 51 kanssa ja lieriömäisen osan radiaalisen ulkopinnan ollessa liitettynä maahan.

Kuvion 6 toimiessa normaaliolosuhteissa johdin 51 siirtää signaaleja suojattuun piirijohdokseen. Normaalien potentiaalierojen esiintyessä johdinlinjan 51 ja maan välillä on matriisimateriaalin vastus riittävän suuri, niin että vain mitätön virta tulee johdetuksi matriisimateriaalin läpi. Energialtaan suuren EOS-häiriön esiintyessä johtimen 51 jännite lisääntyy kuitenkin huomattavasti, matriisimateriaalin vastuksen vähentyessä kyllin voimakkaasti sähköisen ohitusliitännän muodostamiseksi johtimesta 51 maahan. Matriisimateriaalin läpi kulkeva virta on EOS-häiriön aiheuttaman virran ja itse asiassa maahan ohitusliitetyn johtimen 51 kautta aiheutuvan virran summa. Sitten matriisimateriaalin 9 käsittelemä energia on transientin poisjohtaman sekä materiaaliin niistä sähköjärjestelmistä, joihin linja 51 on liitetty, syötetyn energian summa. Ohitusvirta jatkuu niin kauan kuin johtimen 51 potentiaali on suurempi kuin matriisimateriaalin tasolukitusjännite.

Käytännön kannalta katsoen on vaadittava energiansiirtokapasiteetti sitä suurempi, mitä suurempi on matriisimateriaalin vaadittu tilavuus EOS-suojauksessa. Jos suojattavana kohteena on esimerkiksi yksinkertainen mikrosähköinen komponentti, on matriisimateriaalin vaadittu tilavuus suhteellisen pieni. Jos taas toisaalta suojellun virtapiirin olisi sisällettävä massiivinen antenni, olisi vaadittu tilavuus suhteellisen suuri. Suunnitteluohjeena voidaan pitää sitä, että esillä olevan keksinnön mukainen matriisimateriaali johtaa suunnilleen kymmenen (10) joulea tai enemmän energiaa kuutiosenttimetriä kohden, jolloin tämä suhde voi kuitenkin vaihdella huomattavasti matriisimateriaalin muodostavista materiaaleista riippuen. Käytännössä matriisimateriaali siirtää 0,5 - useita satoja jouleja energiaa matriisimateriaalin massasta riippuen.

Matriisimateriaalin 9 toimintaa selostetaan seuraavassa yksityiskohtaisemmin. Alunperin voidaan olettaa, että sopiva massa matriisimateriaalia 9 on liitetty maan ja suojeltavan elektronisen komponentin tai siihen kytketyn johtimen väliin, ja että energialtaan suuri EOS-transientti on esiintynyt uhaten suojattavaa piirijohdotusta. Kun transientti saavuttaa matriisimateriaalin 9, tunkeutuvat transienttiin liittyvät sähkökentät pian materiaaliin, jolloin nämä sähkökentät tunkeutuvat myös kuhunkin hiukkaseen sekä kuhunkin hiukkasten väliseen liitokseen tai esteeseen materiaalin sisällä. Nämä kentät saattavat aiheuttaa samanaikaisesti useita johtavuusmekanismeja ja paljon erilaisia siirtoilmiöitä voi esiintyä transientin alkamisesta lähtien kuluneesta ajasta riippuen. Virta voi esimerkiksi virrata matriisimateriaalin 9 kautta vierekkäisten sähköä johtavien hiukkasten 11 välissä tai vierekkäisten puolijohdehiukkasten 13 välisten liitosten kautta tai vierekkäisten johtavien hiukkasten ja puolijohdehiukkasten välissä. Siten, niin kauan kuin EOS-transientin

jännite ylittää matriisimateriaalin 9 tasolukitustason, esiintyy lukuisia virtaväyliä matriisimateriaalin 9 jokaisessa osassa hiukkasten 11 ja 13 muodostamia ketjuja pitkin.

Sähkökenttiä ei esiinny sähköä johtavien hiukkasten 11 sisätilassa. Tämä seikka lisää kenttien voimakkuutta puolijohdehiukkasissa sekä eristysmateriaaliliitoksissa. Kentät lisääntyvät myös silloin, kun sähköä johtavat hiukkaset sisältävät terävät kärjet. Sitten kun vastus vierekkäisten johtavien hiukkasten 11 jossain erityisessä ketjussa on kyllin pieni, kulkee virta tämän ketjun kautta johtavien hiukkasten 11 ohmisen vastuksen ja kohdistetun energiakentän mukaisella tavalla.

Puolijohdehiukkasten 13 voidaan katsoa olevan yksittäisiä epälineaarisia vastuselementtejä. Kun kohdistettu energiakenttä tunkeutuu puolijohdehiukkasiin 9, ohjaa puolijohdemateriaalin koostumus muutosta yksittäisten hiukkasten johtavuudessa ja siten virtaa matriisimateriaalin 9 läpi siirtävien puolijohdehiukkasten 13 muodostamien ketjujen sähkönjohtavuutta. Puolijohdehiukkasten 13 lukumäärä ja koostumus määrittää toisin sanoen matriisimateriaalin 9 massavastuksen. Jännitehäviöt eristysmateriaalin 15 muodostamissa esteliitoksissa lisäävät myös matriisimateriaalin 9 on-tilaan liittyvää massavastusta. Siten matriisimateriaalin 9 kokonaisjohtavuus on suoraan verrannollinen kaikkien jännitehäviöiden sarja-rinnakkaissummiin kaikissa johtavissa hiukkasissa 11, puolijohdehiukkasissa 13 sekä eristysmateriaalin 15 ja sideainemateriaalin 19 muodostamissa esteliitoksissa.

Kuviossa 7 on jännitehäviötä puolijohdehiukkasessa 13 merkittty tunnuksella V_{SC}, jännitehäviötä sähköä johtavassa hiukkasessa tunnuksella V_M ja potentiaalihäviötä nämä molemmat hiukkaset toisistaan erottavassa eritysmateriaalissa 15 tunnuksella V_B (estepoten-

tiaali). Siten kuvion 7 voidaan katsoa esittävän osittaista ketjua (jonka muodostaa kaksi hiukkasta) matriisimateriaalin 9 sisällä. Kokonaispotentiaaliero tässä ketjussa saadaan laskemalla yhteen V_{SC}, V_B ja V_M.

Kuvioon 7 edelleen viitaten voidaan havaita, että eristysmateriaalin 15 muodostama päällyste on hieman siirtynyt alueella, jossa hiukkanen 11 on hiukkasta 13 vasten. Käytännössä näiden hiukkasten sekoittaminen keskenään matriisimateriaalin 9 muodostamiseksi tai hiukkasten väärä päällystäminen johtavat toisinaan siihen, että sähköä johtava materiaali koskettaa suoraan puolijohdemateriaaleja tai että yhden hiukkasen sisältämä sähköäjohtava materiaali koskettaa suoraan toisessa hiukkasessa olevaa sähköä johtavaa materiaalia, tai että yhden hiukkasen sisältämä puolijohdemateriaali koskettaa suoraan toisessa hiukkasessa olevaa puolijohdemateriaalia. Tällaiset epäsäännöllisyydet, kunhan ne esiintyvät vain suhteellisen erillisinä tapauksina, eivät kuitenkaan vaikuta haitallisesti matriisimateriaalin 9 suorituskykyyn.

Elektronisiirron käynnistyttyä kvanttimekaanisen tunneloitumisen välityksellä, alkavat muutkin siirtomekanismit toimintansa. Esimerkiksi elektronien hehkuemissioita esiintyy todennäköisesti lähes samanaikaisesti tunneloitumisen kanssa. Elektroneja voi siirtyä myös vyöry- tai zenerläpilyönnin ja kenttäemissiovaikutusten johdosta. Tällainen elektronisiirtomekanismin kumuloitumisen seurauksena matriisimateriaali 9 saa erittäin epälineaariset vastusominaisuudet nopeilla nousuajoilla varustettujen transienttin aiheuttamien kohdistettujen sähkökenttien suhteen.

EOS-transientin synnyttämän kentän vähentyessä lisääntyvät sähköä johtavien hiukkasten 11 ja puolijohdehiukkasten 13 välissä liitoksissa olevat energiaesteet suhteessa näiden esteiden läpi tunkeutumista yrittävien

elektronien sisältämään energiaan. (Kuviossa 7 on sanotuissa liitoksissa olevia energiaesteitä merkitty jännitehäviönä V_B.) Siten matriisimateriaalin 9 ominaisvastus lisääntyy nopeasti transientin emplitudin vähentyessä, jolloin materiaalin ohitusliitäntätoiminto nopeasti vähenee.

Pääasiallisena tarkoituksena matriisimateriaalia 9 valmistettaessa on saada aikaan lukemattomia vierekkäisten hiukkasten muodostamia ketjuja, hiukkasia toisistaan erottavien etäisyyksien näissä ketjuissa ollessa riittävän pieniä, niin että elektronien siirtoa nämä hiukkaset toisistaan erottavan eristysmateriaalin 15 kautta hallitsee alunperin elektronien kvanttimekaaninen tunneloituminen. Sähköä johtavat hiukkaset 11 ja puolijohdehiukkaset 13 ovat toisin sanoen riittävän lähekkäisesti eristysmateriaalin 15 toisistaan erottamina, niin että nämä ketjut tai rainat muodostavien hiukkasten välisiä liitoksia voidaan oikeudenmukaisesti kutsua tunneliliitoksisiksi. Esillä olevia tarkoituksia varten voidaan tunneliliitos määrittää alle useita satoja Ångström-yksiköitä olevaksi hiukkasten väliseksi etäisyydeksi. Tunneliliitoksissa sähkökenttien ollessa kohdistettuina elektronit kulkevat eristysmateriaalin 15 kautta silloinkin, kun liitoksen muodostama teoreettinen energiaste ylittää ainakin muutamien tämän esteen läpi kulkeneiden elektronien energian. Selitys tähän ilmiöön on riippuvainen elektronien käyttäytymisen todennäköisyysmallista, ja liitosesteiden läpi kulkevien elektronien sanotaan tekevän näin pikemminkin "tunneloitumisen" ansiosta kuin siksi, että niiden energiat ylittävät este-energian. Koska tunnelointivirrat esiintyvät lähes välittömästi kohdistettujen kenttien ylittäessä minimiarvon, uskotaan siten, että matriisimateriaalin 9 suhteellisen nopeat reagointiajat johtuvat elektronien siirtymisestä kvanttimekaanisen tunneloitumisen välityksellä kohdistettujen

kenttien ollessa voimakkaita, eristysmateriaalin 25 sisältäessä kapeat tehoesteleveydet ja puolijohdehiukkasten 13 ollessa pieniä. Lisäksi johtavuuden lisääntyminen kvanttimekaanisen tunneloitumisen avulla muihin siirtoilmiöihin verrattuna ei ole tärkeä asia vain matriisimateriaalin 9 reagointiajan kannalta, vaan se lisää myös materiaalin selviytymiskykyä (so. vähentää läpilyöntivaurioita).

Matriisimateriaalin 9 suositeltavan valmistusprosessin yhteydessä sähköä johtavat hiukkaset 11 päällystetään yksittäisesti eristysmateriaalilla 15 ja samoin myös puolijohdehiukkaset 13 päällystetään yksittäisesti eristysmateriaalilla 15. (Esillä olevassa yhteydessä oksidikerroksen muodostamisen sähköä johtavien hiukkasten 11 pintaan voidaan katsoa sisältyvän "päällystysvaiheeseen".) Sen jälkeen johtavat hiukkaset 11 sekoitetaan sideainemateriaalin 19 kanssa ja päällystetyt puolijohdehiukkaset 13 lisätään tähän seokseen. (Tapauksissa, jolloin käytettynä sideainemateriaalina 19 on sopiva sähköinen eristin, voidaan johtavat hiukkaset 11 päällystää sekoittamalla ne sideaineeseen.) Sideainemateriaalista 19 riippuen kovetus voi olla välttämätön. Matriisimateriaalia 9 valmistettaessa on tärkeää, että sähköä johtavat hiukkaset 11 ja puolijohdehiukkaset 13 sekoitetaan homogeenisesti keskenään. Homogeenisen sekoituksen puuttuessa saattaisivat johtavien ja puolijohdehiukkasten lukuisat jatkuvat ketjut ulottua matriisimateriaalin pinnasta toiseen ja huonontaa tämän materiaalin ominaisuuksia. Matriisimateriaalin 9 tyypillisessä poikkileikkauksessa noin 25 - yli 500 sähköä johtavaa ja puolijohdehiukkasta erottavat toisistaan matriisimateriaalin vastakkaiset pinnat.

Vaikka edellä on selostettu matriisimateriaalin 9 olevan käyttökelpoinen suojan aikaansaamisessa EOS-transientteja vastaan, voidaan tätä materiaalia käyttää myös sovellutuksissa, jotka on tarkoitettu saamaan aikaan suurtehoisten sähköisten virtapiirien pikakytkentä.

Vaikka esillä olevaa keksintöä on selostettu edellä viitaten erityisesti esitettyyn suositeltavaan sovellutusmuotoon, ei tätä selostusta ole pidettävä luonteeltaan rajoittavana. Alaan perehtyneet henkilöt voivat epäilemättä tehdä useita muutoksia ja muunnelmia luettuaan edelläolevan selostuksen. Kaikki tällaiset vaihtoehtoiset keksinnön todellisen hengen ja suojapiirin mukaiset sovellutusmuodot on siten tarkoitettu sisällytettäviksi oheisiin patenttivaatimuksiin.

47

Patenttivaatimukset:

1. Epälineaarinen vastusmateriaali sähköisen ylirasitussuojan saamiseksi nousuajaltaan jopa vain muutamia nanosekunteja tai vähemmän olevia sähköisiä transientteja vastaan, sanotun materiaalin käsittäessä matriisin, joka on muodostettu seuraavat aineosat käsittävästä seoksesta:

a) erilliset sähköä johtavista materiaaleista muodostetut hiukkaset, näiden useimpien sähköä johtavien hiukkasten ollessa kooltaan alle noin useita satoja mikroneja;

b) puolijohdemetriaaleista muodostetut hiukkaset, näiden useimpien puolijohdehiukkasten ollessa kooltaan alle noin useita satoja mikroneja; ja

c) sanotut sähköä johtavista materiaaleista tehdyt hiukkaset ja puolijohdehiukkaset päällystävät eristysmateriaalit hiukkasketjujen muodostamista varten matriisin sisälle sanottujen ketjujen hiukkasia toisistaan erottavien etäisyyksien ollessa keskimäärin pienemmät kuin noin useita satoja Ångström-yksiköitä, jolloin pääasiassa epälineaarinen sähkönjohtavuus tulee mahdolliseksi sanotuissa ketjuissa olevien hiukkasten välillä elektronien kvanttimekaanisen tunneloitumisen avulla reaktiona energialtaan suuriin sähköisiin transientteihin.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen materiaali, sisältäen lisäksi sideainemateriaalin, johon sanotut hiukkaset on yleensä homogeenisesti suspendoitu.

3. Patenttivaatimuksen 1 mukainen materiaali, jossa sähköä johtavat hiukkaset sisältävät karbonyylinikkelistä muodostetut hiukkaset.

4. Patenttivaatimuksen 1 mukainen materiaali, jossa sähköä johtavat hiukkaset sisältävät seuraavaan ryhmään kuuluvat materiaalit: titaanikarbidi, nikkeli, volframikarbidi, boronikarbidi, sirkoniumkarbidi, hii-

limusta, grafiitti, kupari, alumiini, molybdeeni, hopea, kulta, sinkki, messinki, kadmium, rauta, tina, beryllium, lyijy, boridit, tantalikarbidi ja Mu-metalli.

5. Prosessi epälineaarisen vastusmateriaalin muodostamiseksi suojan saamiseksi nousuajoiltaan jopa vain muutamia nanosekunteja tai vähemmän olevia sähköisiä transientteja vastaan, sanotun prosessin käsittäessä seuraavat vaiheet:

a) sähköä johtavista materiaaleista ja puolijohdemateriaaleista muodostettujen erillisten hiukkasten valmistamisen, sanottujen hiukkasten ollessa kooltaan yleensä alle useita satoja mikroneja;

b) kunkin sähköä johtavista materiaaleista muodostettujen hiukkasten ja puolijohdemateriaaleista muodostettujen hiukkasten päällystämisen eristysmateriaaleilla; ja

c) sähköä johtavista materiaaleista muodostettujen päällystettyjen hiukkasten ja puolijohdemateriaaleista muodostettujen päällystettyjen hiukkasten sekoittamisen keskenään yleensä homogeenisen matriisin muodostamiseksi, joka sisältää lukemattomia vierekkäisten hiukkasten muodostamia ketjuja, sanottujen hiukkasten ollessa asetettuina erilleen toisistaan eristävän päällyksen välityksellä enintään muutamien satojen Ångström-yksiköiden verran pääasiallisen elektronijohtavuuden mahdollistamiseksi sanottujen hiukkasten välillä kvanttimekaanisen tunneloitumisen välityksellä reaktiona kohdistettuihin sähköisiin ylirasitustransientteihin.

6. Patenttivaatimuksen 5 mukainen prosessi, sisältäen lisäksi sideainemateriaalin lisäämisen sähköä johtavista ja puolijohdemateriaaleista muodostettujen hiukkasten seoksen suspendoimiseksi.

7. Patenttivaatimuksen 5 mukainen prosessi, jossa sähköä johtavasta ja puolijohdemateriaalista muodostetut hiukkaset päällystetään erikseen eristysmateriaalilla ennen sekoittamistaan yhteen.

8. Patenttivaatimuksen 5 mukainen prosessi, jossa sähköä johtavat hiukkaset sisältävät seuraavaan ryhmään kuuluvia materiaaleja: titaanikarbidi, nikkeli, volframikarbidi, boronikarbidi, sirkoniumkarbidi, hiilimusta, grafiitti, kupari, alumiini, molybdeeni, hopea, kulta, sinkki, messinki, kadmium, pronssi, rauta, tina, beryllium, tina, boridit, tentalikarbidi tai Mu-metalli.

9. Epälineaarisesti resistiivinen laite suojan saamiseksi nousuajoiltaan jopa vain muutamia nanosekunteja tai vähemmän olevia sähköisiä ylirasitustransienteja vastaan, sanotun laitteen käsittäessä:

a) matriisin tehtynä epälineaarisesti resistiivisestä materiaalista, joka käsittää sähköä johtavista materiaaleista sekä puolijohdemateriaaleista muodostettujen erillisten hiukkasten umpimähkäisen seoksen, sanottujen puolijohdehiukkasten ollessa päällystettyinä eristysmateriaaleilla hiukkasten erottamiseksi sähköä johtavista materiaaleista ja puolijohdemateriaaleista muodostettujen hiukkasten ketjuihin riittävän pienten etäisyyksien avulla elektronien kvanttimekaanisen tunneloitumisen sallimiseksi sanottujen hiukkasten välillä reaktiona sähköisiin ylirasitusstransientteihin; ja

b) elektrodilaitteen matriisimateriaalin kytkemiseksi maan ja hetkellisiltä sähköisiltä ylirasituksilta suojattavan sähkölaitteen väliin.

10. Patenttivaatimuksen 9 mukainen laite, sisältäen lisäksi eristävän sideainemateriaalin, johon sanotut erilliset hiukkaset on yleensä homogeenisesti suspendoitu.

L 14

Patentkrav:

1. Icke-lineärt motståndsmaterial för erbjudande av elektriskt överspänningsskydd mot elektriska insvängningar med insvängningstider så snabba som några nanosekunder eller mindre, varvid materialet omfattar en matris, vilken bildats av en blandning av:

a) separata partiklar av ledande material, varvid storlekarna på den övervägande delen av de ledande partiklarna är mindre än ca. flera hundra mikron;

b) separata partiklar av halvledarmaterial, varvid storlekarna av den övervägande delen av halvledarpartiklarna är mindre än ca. flera hundra mikron; och

c) isoleringsmaterial, vilka täcker partiklarna av ledande material och partiklarna av halvledarmaterial för bildande av partikelkedjor inne i matrisen, vari avstånden mellan partiklarna utmed kedjorna i medeltal är mindre än flera hundra Ångström, varigenom tillåts väsentligen icke-lineär ledning mellan partiklarna i de nämnda kedjorna genom kvantmekanisk kanalisering av elektronerna som gensvar på elektriska insvängningar med hög energi.

2. Material enligt patentkravet 1, vilket ytterligare inkluderar bindematerial, i vilket nämnda partiklar suspenderats väsentligen homogent.

3. Material enligt patentkravet 1, varvid de ledande partiklarna inkluderar partiklar av karbonylnickel.

4. Material enligt patentkravet 1, varvid de ledande partiklarna inkluderar material ur gruppen titankarbid, nickel, volframkarbid, borkarbid, zirkonkarbid, kimrök, grafit, koppar, aluminium, molybden, silver, guld, zink, mässing, kadmium, brons, järn, tenn, beryll, bly, borider, tantalkarbid och Mu-metall.

5. Förfarande för sammansättning av ett icke-lineärt motståndsmaterial som skydd mot elektriska insvängningar med insvängningstider så snabba som några nano-

sekunder eller mindre, k ä n n e t e c k n a t därav, att det omfattar steg, vid vilka man:

a) bildar separata partiklar av ledande material och separata partiklar av halvledarmaterial, varvid partikelstorlekarna vanligtvis är mindre än flera hudnra mikron;

b) belägger varje partikel av de ledande materialen och varje partikel av halvledarmaterialen med isoleringsmaterial; och

c) blandar de belagda partiklarna av ledande material med de belagda partiklarna av halvledarmaterial för bildande av en huvudsakligen homogen matris med en myriad av kedjor med invid varandra liggande partiklar, varvid partiklarna åtskiljs av isoleringsbeläggningen högst några hudnra Ångström för tillåtande av väsentlig elektronledning mellan partiklarna genom kvantmekanisk kanalisering som gensvar på anbringade, elektriska, överspända insvängningar.

6. Förfarande enligt patentkravet 5, k ä n n e t e c k n a t därav, att det ytterligare inkluderar tillsättning av ett bindematerial för suspendering av blandningen av ledande och halvledande materialpartiklar.

7. Förfarande enligt patentkravet 5, k ä n n e t e c k n a t därav, att partiklarna av ledande och halvledande material beläggs separat med isoleringsmaterialet innan de sammanblandas.

8. Förfarande enligt patentkravet 5, k ä n n e t e c k n a t därav, att de ledande partiklarna inkluderar material ur gruppen titankarbid, nickel, valframkarbid, borkarbid, zirkonkarbid, kimrök, grafit, koppar, aluminium, molybden, silver, guld, zink, mässing, kadmium, brons, järn, tenn, beryll, bly, borider, tantalkarbid eller Mu-metall.

9. Icke-lineär motståndsanordning som skydd mot elektriska, överspända insvängningarförlopp med insvängningstider så snabba som några nanosekunder eller mindre,

varvid anordningen omfattar:

a) en matris av icke-lineärt motståndsmaterial, vilket består av en slumpartad blandning av separata partiklar av ledande material och halvledande material, varvid isoleringsmaterial täcker halvledarpartiklarna för separerande av partiklarna i kedjor av partiklar av ledande material och halvledande material på avstånd från varandra som är tillräckligt små för tillåtande av kvantmekanisk kanalisering av elektroner mellan partiklarna som gensvar på elektriska, överspända insvängningar; och

b) elektrodorgan för elektriskt kopplande av matrisen mellan jorden och en elektrisk anordning som skall skyddas mot av insvängningar förorsakade elektriska överspänningar.

10. Anordning enligt patentkravet 5, varvid den ytterligare inkluderar ett isolerande bindematerial, i vilket nämnda separata partiklar suspenderats väsentligen homogent.

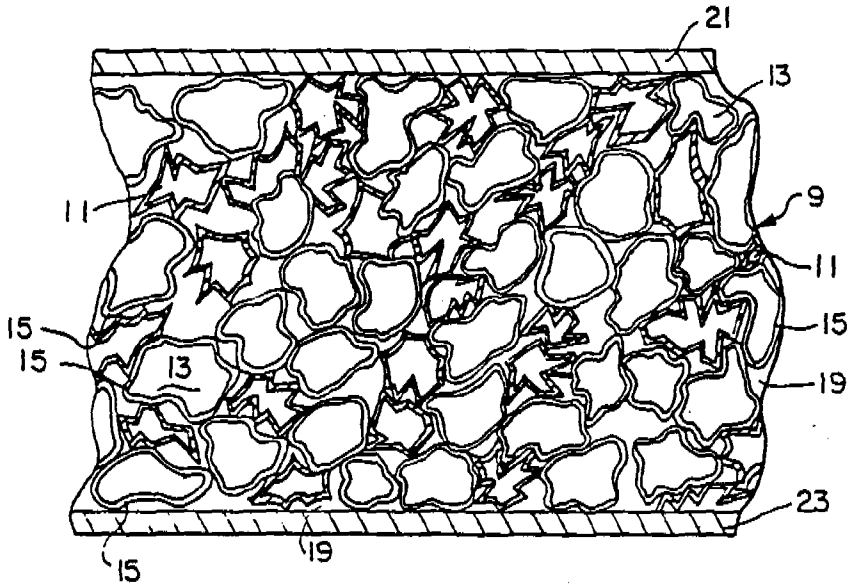


FIG. 1

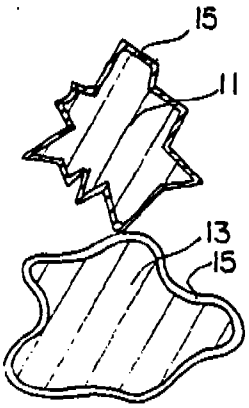


FIG. 2

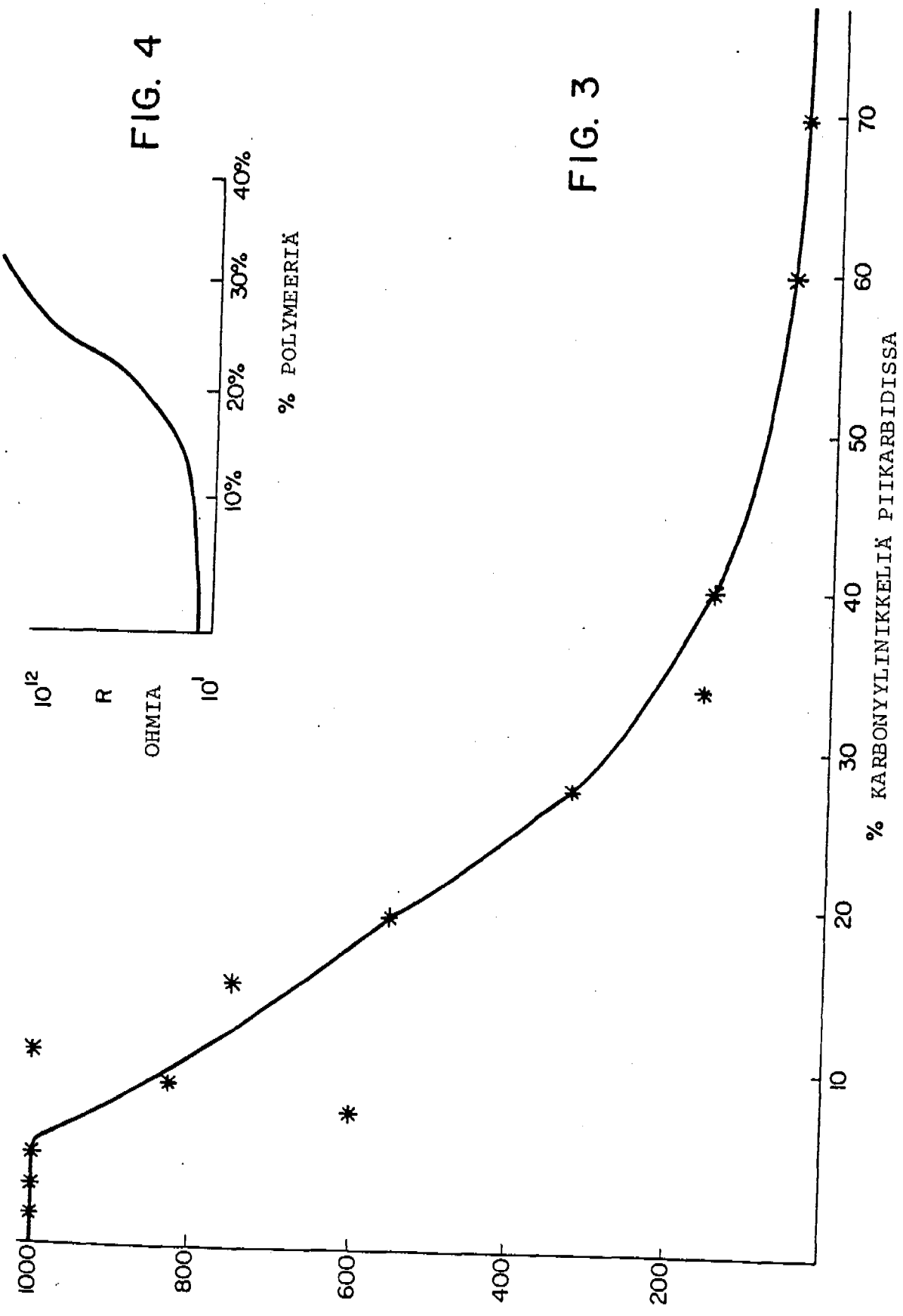

1000
800
600
400
200
10
20
30
40
50
60
70
% KARBONYYLINIKKELIÄ PIIKARBIDISSA

FIG. 3

10^{12}
R
OHMIA
10^{1}
10%
20%
30%
40%
% POLYMEERIÄ

FIG. 4

FIG. 5

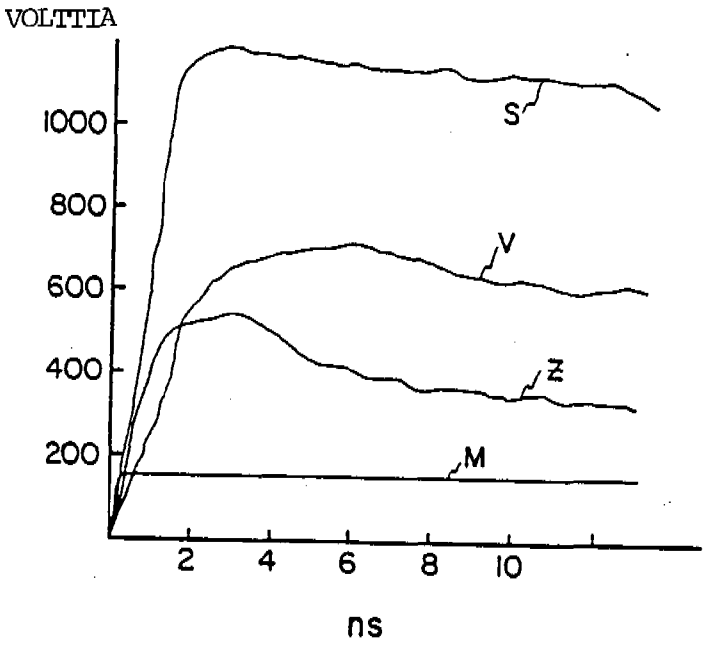
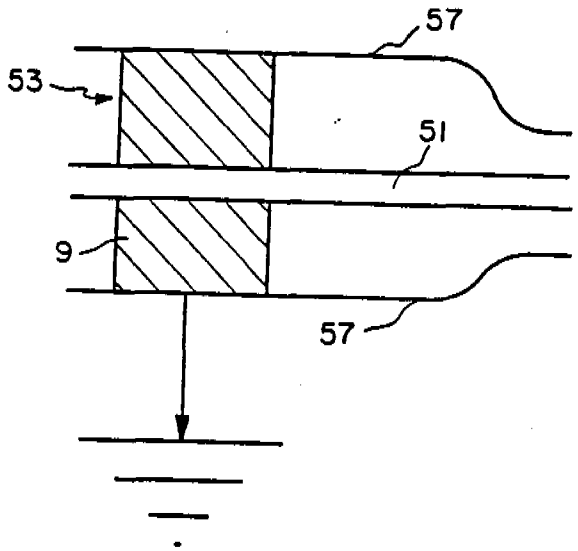


FIG. 6



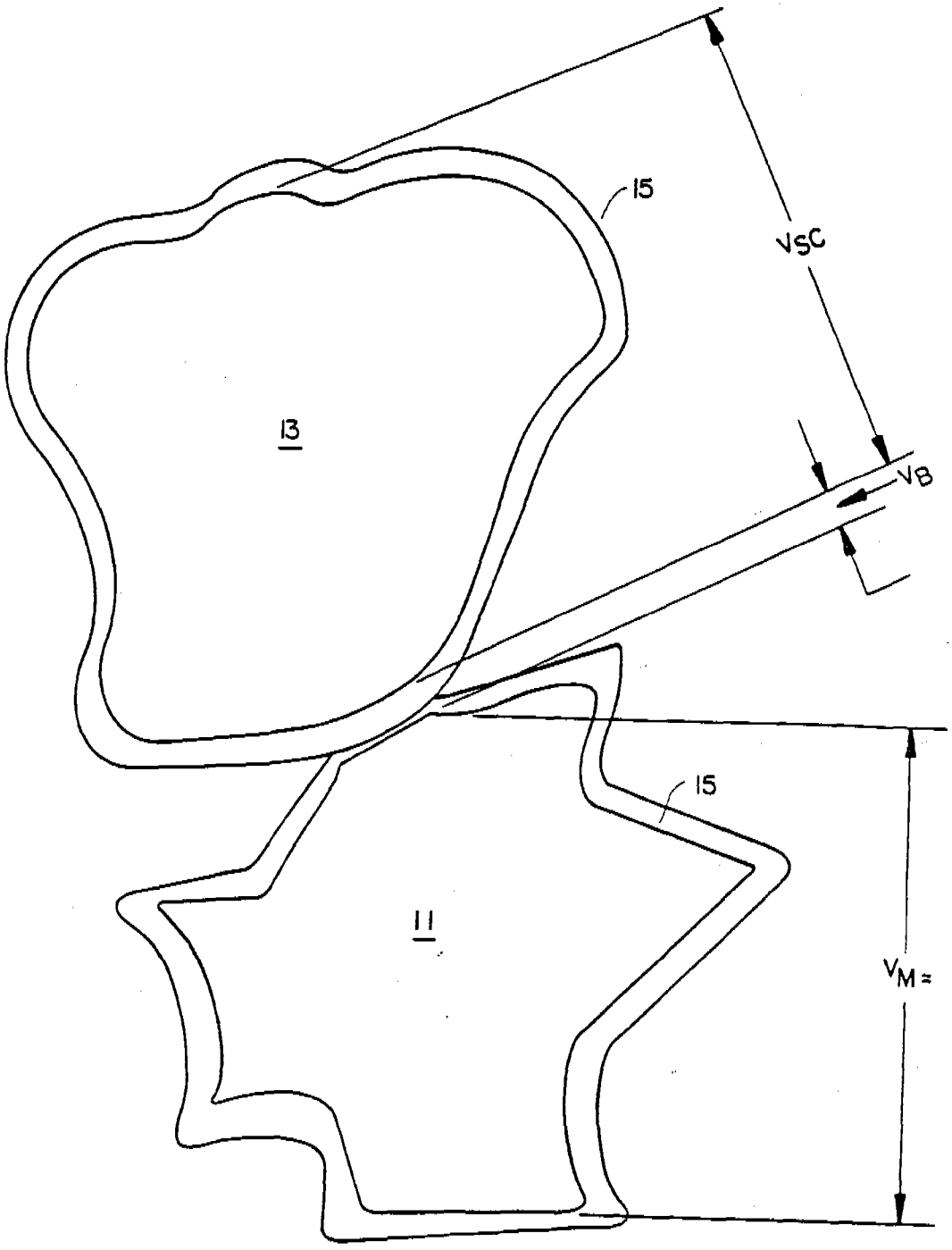


FIG. 7