



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

HANNA – MAIJA SALMINEN
KOMPONENTTIEN LIITTÄMINEN PAINETTAVAAN
ELEKTRONIIKKAAN

Diplomityö

Tarkastaja:
Professori Pekka Ruuskanen
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunnan
tiedekuntaneuvoston kokouksessa
03. kesäkuuta 2009

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Sähkötekniikan koulutusohjelma

SALMINEN, HANNA – MAIJA: Komponenttien liittäminen painettavaan elektroniikkaan

Diplomityö, 81 sivua

2009

Pääaine: Elektroniikkatuotanto

Tarkastaja: Professori Pekka Ruuskanen

Avainsanat: Matalanlämpötilan pastat, painettava elektroniikka, perkolaatio, sähköisesti johtavat liimat, press-fit liittimet

Tämän diplomityön tavoite oli selvittää komponenttien liittämistä painettavaan elektroniikkaan. Lisäksi työn tavoitteena on lisätä tietoa sähköisesti johtavista liimoista, matalalämpötilan pastoista sekä press-fit teknologiasta. Diplomityö painottuu sähköisesti johtaviin liimoihin ja matalanlämpötilan pastoihin.

Työn lähtökohtana olivat painettavan elektroniikan valmistusmenetelmät, kuten gravure-, flexo-, silkki-, offset- sekä mustesuihkupainotekniikat. Työ käsittelee valmistusmenetelmien perustekniikan sekä menetelmien etuja ja haittoja.

Sähköisesti johtavat liimat voidaan jakaa isotrooppisesti zyx-suuntaisesti johtaviin liimoihin sekä anisotrooppisesti z-suuntaisesti johtaviin liimoihin. Sähköisesti johtava liimaliitos takaa alhaisen prosessilämpötilan, tiheämmän liitosvälin sekä ympäristöystävällisen prosessin, joka on keskeinen tavoite kehittyvässä teollisuudessa.

Matalanlämpötilan pastat mahdollistavat matalan prosessilämpötilan. Matalalämpötilan pastat sulavat alle 183 °C ja koostuvat pääosin tinasta, vismutista, indiumista, kadmiumista ja lyijystä. Jokainen seos tarjoaa eri ominaisuuksia pienin muutoksin, joita on syytä tutkia ennen varsinaista sovellusta.

Press-fit teknologia perustuu komponenttien jalkojen puristukseen voiman sovelluksesta. Prosessi on helppo teoreettisesti ja käytännössä. Ylimoitettut liitospinnit painetaan päällystettyjen PWB reikien läpi. Teknologia takaa nopean, tehokkaan ja luotettavan prosessin. Menetelmä tarjoaa myös hyvän sähköisen ominaisuuden ja ennen kaikkea ympäristöystävällisen prosessin.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Electrical Engineering

SALMINEN, HANNA - MAIJA: Joining of components on printed circuit board

Master of Science Thesis, 81 pages

2009

Major: Electronics manufacturing

Examiner: Professor Pekka Ruuskanen

Keywords: Printed electronics, electrically conductive adhesives, Low-melting solders, percolation, press-fit technology

The purpose of this thesis was to examine components attachment to printed electronics. The goal was also to raise awareness of the electrically conductive adhesives, low-temperature solders and press – fit technology. This Master's thesis is focused on electrically conductive adhesives and low-temperature solder pastes. The thesis is based on the printable electronics printing techniques like gravure, flexo, screen, offset and inkjet printing. The work includes the basic technology of each method as well as printing parameters.

Electrically conducting adhesives can be divided into isotropically zyx-leading adhesives and anisotropically z-leading adhesives. Electrically conductive adhesives offer low process temperatures and an environmentally friendly process, which is a key objective of an evolving industry.

Low-temperature solder pastes allow low process temperature. Low-temperature solder pastes melt under 183 °C and are a mixture, generally consisting mainly of tin, bismuth, indium, cadmium and lead. Each alloy offers a different combination of features, with minor changes which should be examined before the actual application.

Press-fit technology is based on component pins that are applied by force. The process is simple in theory and in practice, relying on oversized pins that are pressed through the PWB holes. The technology ensures a fast, an efficient and a reliable process. The method also provides good electrical properties, and above all environmentally friendly process.

ALKUSANAT

Haluan kiittää professori Pekka Ruuskasta työn ohjaamisesta ja tarkastamisesta sekä tutkija Laine–Ma Teijaa työn opastuksesta. Itse työ oli mielenkiintoinen opettaen aivan uuden asian. Sain kokonaisvaltaisen käsityksen kyseisistä aiheista. Haluan myös kiittää vanhempiani saamastani tuesta ja turvasta opintojeni aikana.

SISÄLLYS

1.	Johdanto	1
2.	Painettava elektroniikka	2
2.1.	Gravure, syväpainotekniikka.....	3
2.2.	Flexopainotekniikka	4
2.3.	Offsetpainotekniikka	4
2.4.	Silkkipainotekniikka	5
2.5.	Mustesuihkupainotekniikka	6
2.5.1.	Kuplasuihkuannostelija	6
2.5.2.	Pietsosähköannostelija	6
2.6.	Paino – ominaisuudet	7
2.7.	Painettavan elektroniikan sovellukset	9
3.	Johtavat liimat	12
3.1.	Polymeerit	14
3.1.1.	Kertamuovit	15
3.1.2.	Kestomuovit.....	19
3.2.	Johtavien liimojen karakterisointi	20
3.2.1	Johtavat metallipartikkelit.....	20
3.2.1.1.	Hopea.....	21
3.2.1.2.	Nikkeli	21
3.2.1.3.	Muut metallit	21
3.2.1.4.	Metallipinnoitetut partikkelit.....	21
3.2.2.	Perkolaatio	22
3.2.3.	Perkolaatiokynnys.....	22
3.2.4.	Nanopartikkeleiden vaikutus perkolaatiokynnökseen	26
3.3.	Anisotrooppisesti johtavat liimat	28
3.3.1.	Anisotrooppisesti johtavien liimojen käyttökohteet	30
3.3.2.	Sähköisten ominaisuuksien parantaminen	30
3.3.3.	Käsitellyt hopeananopartikkelit	31
3.4.	Isotrooppisesti johtavat liimat	32
3.4.1.	Isotrooppisesti johtavien liimojen käyttökohteet.....	33
3.4.2.	Johtokyvyn parantaminen	34
3.4.3.	Kontaktiresistanssin parantaminen	34
3.4.4.	Iskulujuuden parantaminen.....	35
3.5.	ICA ja ACA liimojen prosessoitavuuden eroja.....	36
3.6.	Liimaliitosten edut ja haitat.....	37
3.6.1.	Liimaliitosten kestävyys	37
4.	Matalanlämpötilan pastat	38
4.1.	Matalanlämpötilan pastojen koostumus	40
4.1.1.	Tina	40

4.1.2.	Vismutti	41
4.1.3.	Indium.....	41
4.1.4.	Kadmium	41
4.2.	Eri pastojen vertailu	42
4.3.	Mikrorakenne	44
4.3.1.	Bi58Sn42 mikrorakenne	44
4.3.2.	In50Sn50 mikrorakenne.....	44
4.3.3.	In70Sn30 mikrorakenne.....	45
4.3.4.	Sn53Bi37In10 mikrorakenne	46
4.3.5.	Bi53Sn26Cd21 mikrorakenne.....	46
4.3.6.	Mikrorakenteiden yhteenveto	47
4.4.	Termiset ominaisuudet	47
5.	Adheesio.....	51
6.	Mekaaniset liitokset	53
6.1.	Press – fit liittimet	53
6.2.	Pinnien rakenne	54
6.3.	Laitteisto ja kokoonpano	55
6.4.	Press – fit uudelleenkorjattavuus	57
6.5.	Press – fit vs. juotosprosessi	58
7.	Yhteenveto	59
	Lähteet.....	61
	Liitteet	69

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

ACA	Anisotropic conductive adhesive
ACF	Anisotropic Conductive Film
DSC	Differential scanning calorimetry
ECA	Electrically Conductive Adhesives
EON	Eye – of – the – needle
ICA	Isotropic conductive adhesive
OLED	Organic Light Emitting Diode
PCA	Printed circuit assembly
PTH	Plated through – hole
PDA	Personal Digital Assistant
RFID	Radio Frequency Identification
SAM	Self – assembled monolayer
Tg – Piste	Lasitransitiopiste
VOC	Volatile Organic Compound

1. JOHDANTO

Painettavan elektroniikan uusia sovelluksia ja uusia käyttökohteita on jatkuvasti suunnitteilla ja kehitteillä. Mihin painettava elektroniikka tulevaisuudessa pystyy, on vain ajan kysymys. Painettava elektroniikka on yksi nopeammin kasvava teknologian sovellusalue, mikä mahdollistaa elektroniikan käytön sovelluksissa, joissa sitä ei ole ennen käytetty. Markkinaosuuden odotetaan kasvavan 57 miljardiin dollariin vuoteen 2019 mennessä. Orgaaniset aurinkosähkökennot, joustavat näytöt tai OLED voidaan valmistaa käyttäen hyväksi jo olemassa olevia painotekniikoita.

Sähköisesti johtavat liimat tarjoavat paljon mielenkiintoisia etuja, kuten tiheämmän pichin, alhaisen prosessilämpötilan sekä helpon prosessoitavuuden. Sähköisesti johtavat liimat voidaan jakaa isotrooppisesti johtaviin liimoihin tai anisotrioppisesti johtaviin liimoihin. Isotrooppisesti johtavat liimat johtavat xyz-suuntaisesti kun taas anisotrooppisesti johtavat liimat johtavat z-suuntaisesti. Johtavat liimat voivat olla sovelluksesta riippuen joko termoseptisiä tai termoplastisia.

Matalanlämpötilan pastoiksi luokitellaan pastat, joiden sulamispiste on alle 183 °C. Useimmat matalanlämpötilan pastat koostuvat tinasta, vismutista, indiumista kadmiumista sekä lyijystä. Matalanlämpötilan pastojen käyttö takaa alhaisemman prosessilämpötilan alentaen komponentteihin kohdistuvaa stressiä.

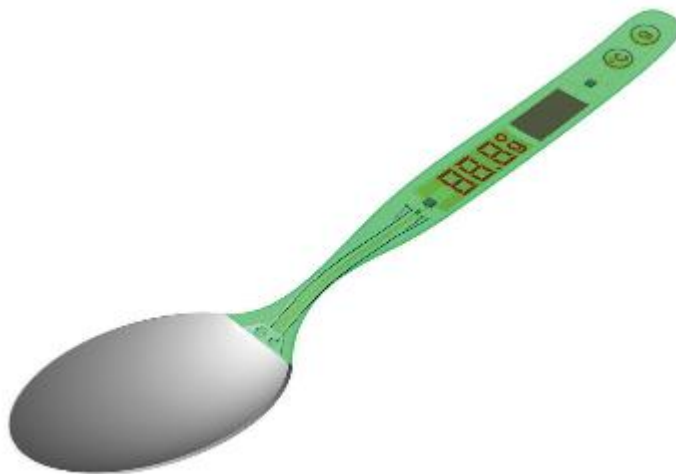
Press-fit liitin saadaan voiman avulla puristettua paikalleen, piirilevyn molemmille puolille. Pinnien rakenteessa on havaittavissa eroja, mutta itse prosessi on samanlainen ylimitoitettujen pinnien työnnettäessä päällystettyjen PWB reikien läpi. Press-fit liittimien käyttö takaa ympäristöystävällisen prosessin taaten hyvän sähköisen liitoksen.

2. PAINETTAVA ELEKTRONIIKKA

Painettava elektroniikka haastaa perinteiset elektroniikan valmistusmenetelmät. Tulevaisuuden kasvavat odotukset ja vaatimukset elektroniikalta edellyttävät jatkuvaa ja kasvavaa kehitystä. Painettava elektroniikka takaa uusia ja innovatiivisia elektroniikkatuotteita tarjoten paremman kilpailukyvyn. Painettava elektroniikan valmistus tapahtuu ympäristöystävällisesti ja kustannustehokkaasti. /1/

Painettava elektroniikka eroaa perinteisestä elektroniikan valmistusmenetelmästä. Painettava elektroniikka on lisäävä valmistusmenetelmä kun taas perinteinen valmistusmenetelmä koostuu monista työvaiheista ja materiaalien poistamisesta. Anturin, muistipiirin tai prosessorin osana toimiva transistori saadaan liitettyä paperille tai muoville käyttäen hyväksi jo olemassa olevia painotekniikoita. Painettavan älyn ansiosta voi tuote olla samaan aikaan elektroninen laite ja luettava paperi tai pakkaus. Kuvassa 2.1 on esitetty painettu älylusikka. /1, 2/

Painettavassa elektroniikassa käytetyt painomenetelmät jaetaan perinteisesti kontaktillisiin ja kontaktittomiin tekniikoihin. Rullalta–rullalle tekniikassa painokuvio perustuu rullalle tehtyihin korotuksiin ja upotuksiin. Tämän kontaktillisen painomenetelmän tunnetuimmat tekniikat ovat gravure; syväpaino-, flexo-, offset- sekä silkkipainotekniikka. Mustesuihku eli inkjet painotekniikka on kontaktittomaan tekniikkaan perustuva painomenetelmä. /3/

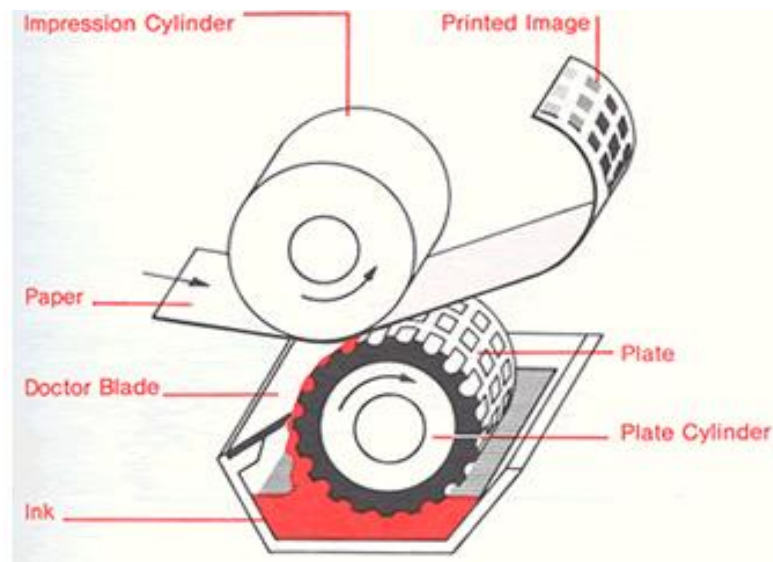


Kuva 2.1. Älylusikka, joka pystyy mm. punnitsemaan ja mittaamaan lämpötilan. /4/

2.1. Gravure, syväpainotekniikka

Gravure eli syväpainotekniikka soveltuu suurien volyymien kuten lehtien tai mainosten painatukseen. Tämän ansiosta gravure painotekniikka on myös herättänyt kiinnostusta elektroniikan valmistuksessa. /5/

Gravure eli syväpainotekniikka on yksinkertainen prosessi. Kuvassa 2.2 on esitetty gravure painoprosessi. Gravuretelan / levyn pintaan on kaiverretty syvennyksinä haluttu painettava kuvio. Painettava muste siirtyy mustesäilöstä pyörivään kaiverrettuun gravuretelaan. Pyörimisen aikana telaan kertyy ylimääräistä mustetta, mikä poistetaan erillisterällä (doctor blade). Pyörivän painotelan (impression cylinder) avulla painetaan painettava pinta eli substraatti vasten pyörivää mustetelaa. Tuloksena on, että muste on siirtynyt substraattiin. /5/



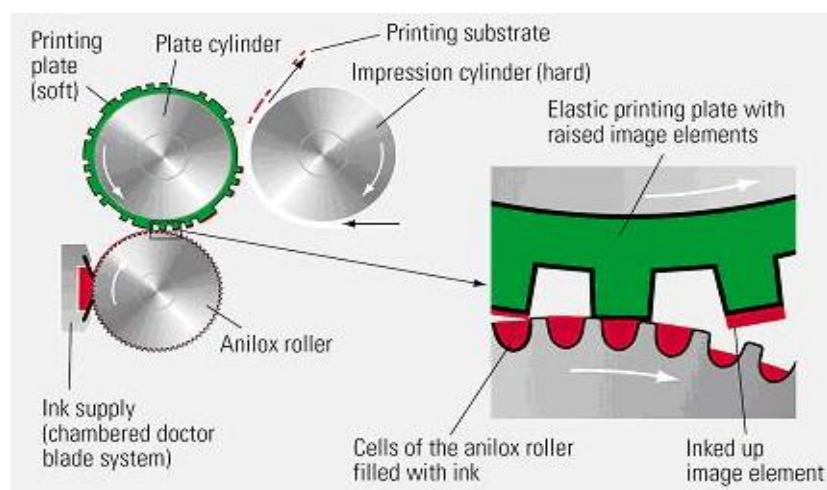
Kuva 2.2. Gravure painotekniikka. /6/

Pienissä painomäärissä gravure painotekniikan painokustannukset ovat kalliita johtuen telojen valmistuksesta. Myös itse painokoneen käynnistys on kallista, mikä taas vaikuttaa siihen, että muutokset tuotannossa ovat vähäisiä. Näin ollen gravure painotekniikka soveltuu parhaiten suurien volyymien painatuksiin, jossa tuotantomuutokset ovat vähäisiä. /5/

2.2. Flexopainotekniikka

Flexopainotekniikka on luotettava ja helppo painotekniikka. Tekniikka soveltuu hyvin joustavien ja epätasaisien pintojen painamiseen. Varsinkin nopeasti kuivuville painoväreille on painamiseen käytettävä kalvo tai muovi hyvinkin ideaalinen. /7/

Flexopainotekniikka on kohopainomenetelmä ja kuvassa 2.3 on esitetty menetelmän tekniikka. Haluttu painettava kuvio on koholla painolaatassa (printing plate). Painolaatta ottaa värin anilox-telalta, joka kuljettaa vakiomäärän väriä sen pinnalla olevien ”kennojen” avulla. Samalla laatta luovuttaa väriä painettavalle pinnalle. Ylimääräinen muste poistetaan kaavimen (doctor blade) avulla ennen painatusta. Painotelan (impression cylinder) avulla kohokuvio saadaan siirrettyä substraatille. Substraattiin kohdistuvan paineen sekä pyörimisnopeuden avulla saadaan säädeltyä painovärin paksuutta. /7/

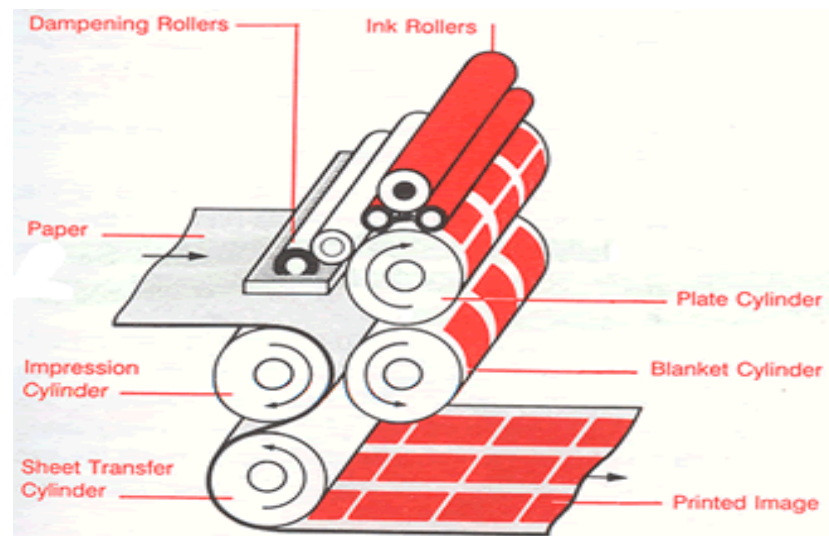


Kuva 2.3. Flexopainotekniikka. /8/

2.3. Offsetpainotekniikka

Offset painotekniikka on laakapainomenetelmä, joka tarjoaa hyvän painojäljen. Tekniikka tarjoaa myös hyvän resoluutio- ja kohdistustarkkuuden. /7/

Offset painotekniikka, joka on esitetty kuvassa 2.4, perustuu hylkimisreaktioon. Painokoneen avulla saadaan painoväri siirtymään painolevyn painettaviin kohtiin, koska ne hylkivät nestettä. Samanaikaisesti nestettä tarttuu painamattomiin kohtiin, jotka puolestaan hylkivät väriä. Tekniikassa painolevy ei ole kontaktissa painoalustaan, vaan väri kulkee painolevyltä painoyksikön kumikankaalle, jonka jälkeen se painautuu paperille. Menetelmän etuna on laitteiden vähäinen huollon tarve sekä suuri painonopeus. Haittana pidetään painatuksen alkukustannuksia sekä töiden vaihtoaikoja. /9, 10/

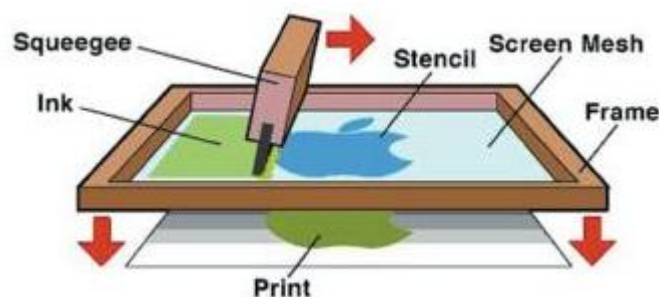


Kuva 2.4. Offset painotekniikka. /6/

2.4. Silkkipainotekniikka

Silkkipainotekniikka on vanha painotekniikka ja soveltuu hyvin suurten pinta-alojen painamiseen. Tekniikka perustuu värin puristamiseen tiheän verkon eli silkin läpi. Osa-alueet, joita ei haluta painettavan, on peitetty. /7/

Silkkipainotekniikka on yksinkertainen prosessi ja kuvassa 2.5 on esitetty tekniikan periaate. Kuvioitu verkko on kohdistettuna piirilevyn päällä. Verkolle levitetään pasta, jonka jälkeen pasta vedetään verkon yli lastalla. Verkon venyminen ja palautuminen levityksen aikana on välttämätöntä, jottei pasta jää kiinni verkkoon. Emulsion ja verkon paksuus määräävät pastakerroksen paksuuden. Myös pastan kiinnepitoisuus ja reologia sekä kuvioinnin dimensiot vaikuttavat pastakerroksen paksuuteen. Silkkipainotekniikan etuja ovat helppous ja verkon valmistuksen edullisuus. Tekniikka ei myöskään ole herkkä substraatin pinnalla oleville epätasaisuuksille. /7,11/



Kuva 2.5. Silkkipainotekniikka. /12/

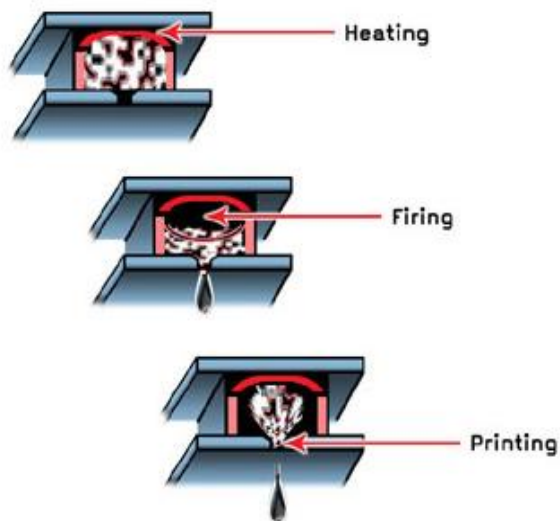
2.5. Mustesuihkupainotekniikka

Mustesuihku (Inkjet) painotekniikka on sen joustavuuden ja kustannustehokkuuden ansiosta erittäin suosittu menetelmä. Menetelmää on käytetty painettujen näyttöjen valmistamiseen. Näin on osoitettu, että tekniikka soveltuu ja on suosittu painettavassa elektroniikassa. Mustesuihkuannostelijoina toimii kuplasuihkuannostelija (bubble jet heads) ja kideannostelija (piezoheads). /3/

2.5.1. Kuplasuihkuannostelija

Kuvassa 2.6 esitetyssä kuplasuihkuannostelijassa muste lämmitetään sen spinodaaliseen rajaan. Musteen kiehuessa syntyy kuplia jotka aiheuttavat paineen > 1 MPa. Muste työntyy ulos paineen ansiosta. /7/

Tekniikan etuna ovat sen helppous ja tekniikan alhaiset kustannukset. Tekniikan haittapuolena voidaan pitää painovärien lämpötilaherkkyttä. /7/

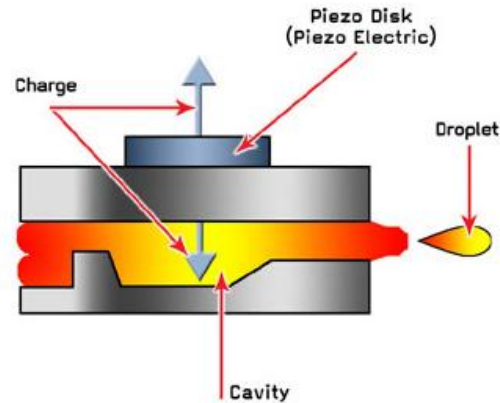


Kuva 2.6. Kuplasuihkuannostelijan periaate. /13/

2.5.2. Pietsosähköannostelija

Pietsosähköisen annostelijan (Kuva 2.7) tekniikka perustuu sen päissä käytettävään pietsosähköiseen kiteeseen. Kun kiteen yli asetetaan potentiaali, tapahtuu kiteessä muodonmuutos, jolloin syntyy paineaalto. Paineaallon seurauksena työntyy ulos mustepisaroita. /7/

Tekniikan suurena etuna voidaan pitää painoväriä, johon ei vaikuta lämpö, vaan kiteen mekaanisella muutoksella aikaansaatu paineaalto. Tekniikan huonona puolena voidaan pitää kiteen vaikeata integrointia, kun käytetään perinteistä silikoniprosessointia. Tämä johtaa siihen, että pietsosähköiset päät ovat erittäin kalliita. /7/



Kuva 2.7. Pietsosähköannostelijan periaate. /14/

2.6. Paino – ominaisuudet

Perinteisten painomenetelmien, kuten mustepainotekniikan tai rullalta–rullalle menetelmien (gravure-, offset-, silkki- ja flexopainotekniikka) valinnassa tulee määrittellä halutut ominaisuudet. Painettavien kerrosten ja materiaalin ominaisuudet sekä painotekniikan taloudelliset ja teknilliset näkökulmat ovat asioita, jotka tulee ottaa huomioon. /15/

Rullalta–rullalle, gravure-, flexo- ja offsetpainotekniikoilla on korkea tuotantokyky, läpisyöttö $10\,000\ m^2/h$, verrattuna muihin painomenetelmiin. Tekniikoiden kehityksen sekä prosessin samanaikainen moninaisuus ja vaihtelevuus mahdollistavat tarkan resoluution, $20\ \mu m$ tai alle. Tästä johtuen ne ovat erityisen sopivia painettavaan elektroniikkaan ja mahdollistavat alhaiset valmistuskustannukset. /15/

Offset- ja flexopainotekniikkaa käytetään pääasiassa epäorgaanisten ja orgaanisten johtimien painatukseen. Gravurepainotekniikkaa sopii erityisen hyvin laatuherkkien kerroksien, kuten orgaanisten puolijohteiden valmistukseen. Menetelmä sopii myös epäorgaanisten johtimien painatukseen, koska painotekniikka on korkealaatuista. Voidaankin osoittaa, että orgaaniset transistorit ja integroidut piirit voidaan kokonaan valmistaa näiden tekniikoiden avulla. /15/

Silkkipainotekniikka on ollut käytössä jo useita vuosia. Tekniikalla on mahdollista valmistaa paksuja kerroksia. Tekniikan läpisyöttö on noin $50\ m^2/h$ ja resoluutio noin $100\ \mu m$. Silkkipainotekniikka soveltuu käyttökohteisiin, joissa on tarvetta suhteellisen paksuille kerroksille, mutta resoluutio ei ole kovinkaan tärkeä. /15/

Mustepainotekniikka on joustava ja monipuolinen painatusmenetelmä, joka pystytään prosessoimaan helposti. Tästä johtuen tekniikka on paljon käytetty painettavassa elektroniikassa. Tekniikan läpisyöttö on yleensä $100\ m^2/h$ ja resoluutio n. $50\ \mu m$,

mikä on huomattavasti huonompi kuin rullalta–rullalle menetelmissä. Tekniikka sopii hyvin esim. orgaanisten puoliyohteiden valmistukseen.

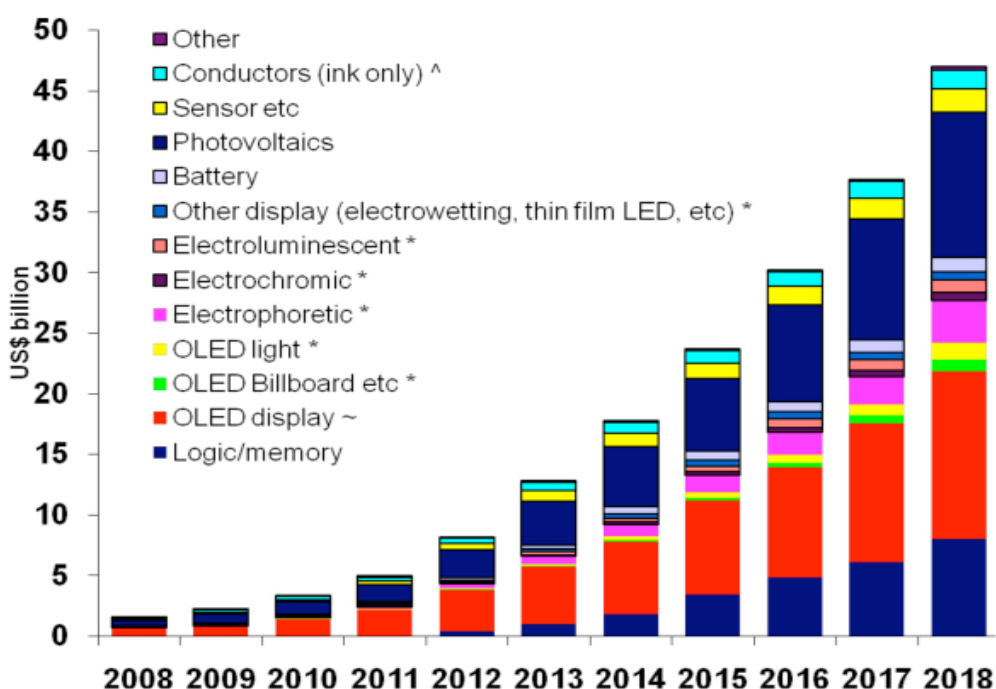
Painettava elektroniikassa painojäljeltä vaaditaan erittäin paljon. Taulukossa 2.1 on esitetty mittasuhteita, jotka takaavat hyvän painojäljen. /15/

Taulukko 2.1. Mittasuhteet hyvään painojälkeen. /16/

<i>Printing method</i>	<i>Viscosity (Pas)</i>	<i>Layer thickness (μm)</i>	<i>Feature size (μm)</i>	<i>Registration (μm)</i>	<i>Throughput (m^2/s)</i>
Gravure printing	0.01-0.2	< 0.1-8	75	> 20	3-60
Flexography printing	0.05-0.5	0.04-2.5	80	< 200	3-30
Offset printing	5-100	0.5-2	10-50	> 10	3-30
Screen printing	0.5-50	0.015-100	20-100	> 25	2-3
Ink jet printing	0.001-0.04	0.05-20	20-50	5-20	0.01-0.5

2.7. Painettavan elektroniikan sovellukset

Painettava elektroniikka on yksi maailman nopeimmin kasvavista teknologioista. Painettavan elektroniikan markkinaosuuden odotetaan kasvavan vuoden 2009 1.92 miljardista 57 miljardiin dollariin vuoteen 2019 mennessä, kuten kuvassa 2.8 on esitetty. Vuonna 2027 odotettu arvo on 330 miljardia dollaria. Vuoden 2009 koko markkinaosuudesta 35 % on pääosin painettavaa elektroniikkaa ja se kasvaa 76 %:iin vuoteen 2019 mennessä. /17/



Kuva 2.8. Markkinaennuste vuoteen 2018. /18/

Painettavaa elektroniikkaa voidaan käyttää useissa eri sovelluksissa ja paikoissa, joissa sitä ei ole ennen käytetty. Painettava elektroniikka kasvaa ja kehittyy koko ajan saaden uusia ulottuvuuksia ja näin ollen myös uusia vaatimuksia. Kehitys perustuu uusien materiaalien, prosessien, prosessiteknologioiden sekä uusien sovellusten keksimiseen. Kuvassa 2.9 on esitetty tämän päivän sovelluksia ja sovelluksia, johon painettava elektroniikka tulevaisuudessa yltää. Organiset aurinkosähkökennot, joustavat näytöt, OLED ja RFID-tagit todetaan suurimmiksi kasvaviksi aloiksi vuosien 2012–2017 välillä. /19, 20/

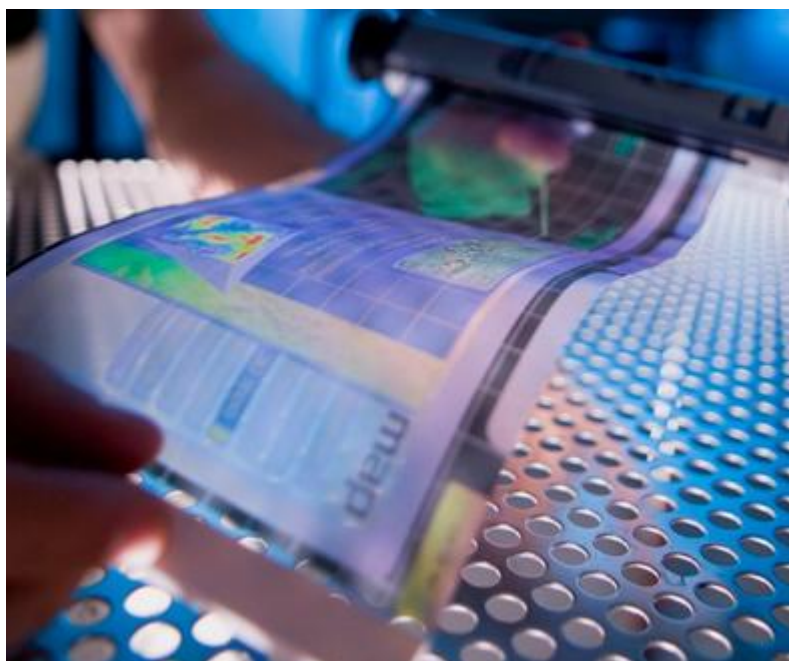


Kuva 2.9. Painettavan elektroniikan sovelluskohteita. /20/

RFID (Radio Frequency Identification) on radiotaajuinen etätunnistin. RFID tekniikkaan voi törmätä monissa arkipäivän sovelluksissa, esim. logistiikan alalla pystytään seuraamaan tavaran hallintaa ja turvallisuutta pystytään parantamaan passi-tunnistimilla. Suurena aluevaltauksena on RFID käyttö terveydenhuollonalalla. RFID tunnistimien avulla voidaan esim. vähentää hoitovirheitä seuraamalla lääkinnällisiä laitteita tai parantaa potilaiden seuranta ja turvallisuutta. /21, 22, 23/

OLED (Organic Light Emitting Diode) on dioditekniikkaan perustuva litteä näyttö, jonka toiminta pohjautuu orgaaniseen aineeseen. Sähkön vaikutuksesta se tuottaa valoa. OLED tekniikkaa käytetään pieninäyttöisissä laitteissa kuten matkapuhelimissa, kameroissa ja PDA-laitteissa. Kovan kehityksen alla ovat OLED televisiot, jotka ovat kirkkaampia, entistä tehokkaampia, ohuempia ja omaavat paremman viritystaajuuden ja kontrastin kuin LCD- tai plasmatelevisiot. Tulevaisuudessa voimmekin nähdä rullattavia OLED televisiota, jotka yksinkertaisesti voidaan rullata pois, kun ei haluta katsella televisiota. Kuvassa 2.10 on esitetty painettavaa elektroniikkaa hyväksikäyttäen valmistettu joustava näyttö. /24, 25/

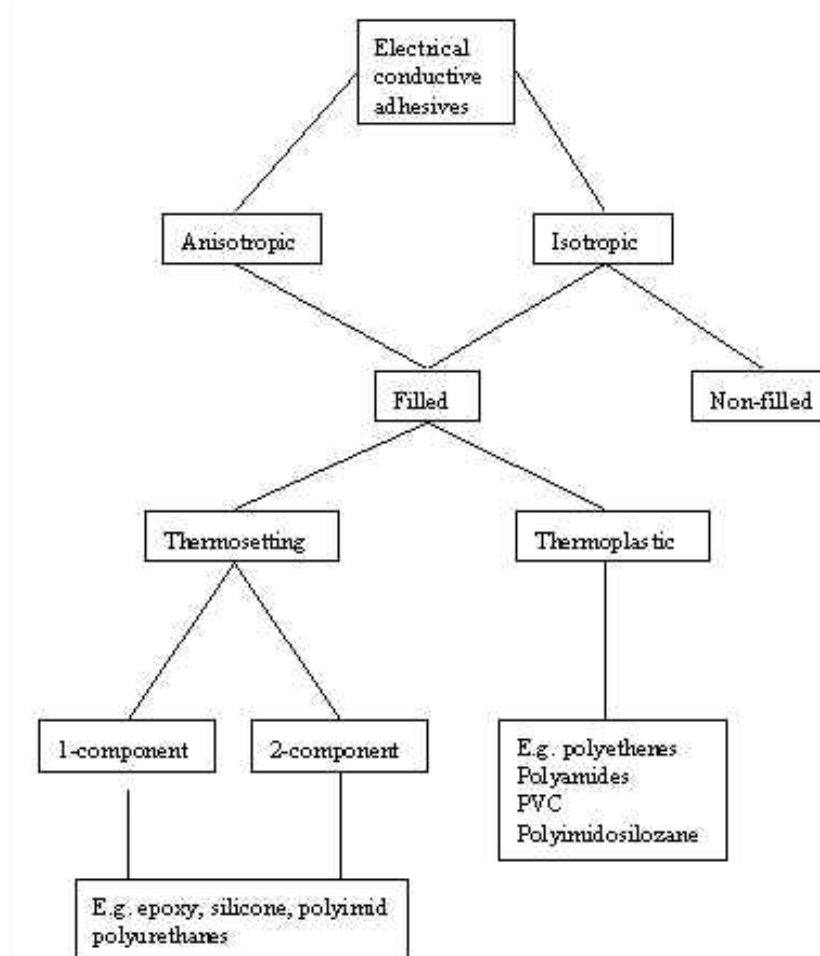
Ajatus painetusta, joustavasta akusta tarjoaa runsaasti mahdollisia käyttötarkoituksia sekä etuja. Enfucell on kehittänyt litteän pariston, joka pystyy tuottamaan 1.5–3 V jännitteen. Paristo on joustava ja on kehitetty ympäristöystävällisistä materiaaleista. Joustavilla paristoilla on runsaasti eri sovellusmahdollisuuksia, kuten lääke- ja kosmetiikka-alalla tai RFID sovelluksissa. Tulevaisuudessa joustavat paristot kehittyvät jatkuvaan käyttöön korkeamman kapasiteetin ansiosta. /26/



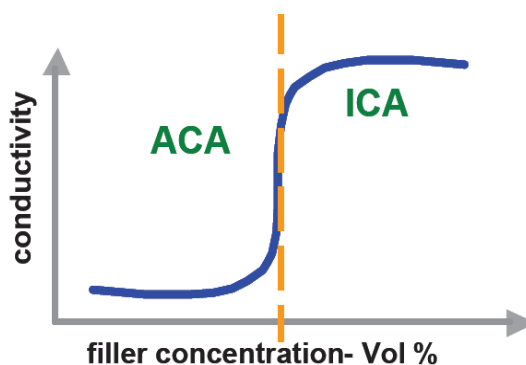
Kuva 2.10. Painettavalla elektroniikalla valmistettu joustava näyttö. /27/

3. JOHTAVAT LIIMAT

Sähköisesti johtavat liimat (Electrically Conductive Adhesive, ECA) voidaan jakaa kahteen ryhmään riippuen sähkön johdettavuudesta, kuten kuvassa 3.1 on esitetty. Sähköisesti johtavat liimat jaetaan anisotrooppisesti (Anisotropic Conductive Adhesive, ACA) sekä isotrooppisesti (Isotropic Conductive Adhesive, ICA) johtaviin liimoihin, jotka eroavat toisistaan perkolaatioteorian perusteella, kuten kuvassa 3.2 on esitetty. Isotrooppisesti johtavat liimat johtavat kaikkiin suuntiin ja anisotrooppiset liimat johtavat z-suuntaisesti. Vaikkakin näiden kahden materiaalin konseptit eroavat, molemmat materiaalit ovat komposiittimateriaaleja sisältäen polymeerimatriisin, johon on sekoitettu johtavia partikkeleita. Tyypillisesti isotrooppisesti johtavat liimat sisältävät 20–35 vol % johtavia täyteaineita ja anisotrooppisesti johtavat liimat 5–10 vol %. Johtavat liimat voivat olla joko kestumuovi tai kertomuovi pohjaisia, riippuen sovelluksista. /28, 29/



Kuva 3.1. Sähköisesti johtavien liimojen jaottelu. /30/



Kuva 3.2. Isotrooppisesti ja anisotrooppisesti johtavien liimojen eroavaisuus. /31/

Sähköä johtavien liimojen päätarkoituksena on kaksi eri toimintoa. Johtavat liimat tarjoavat mekaanisen liitoksen kahden eri pinnan välille ja yhdistävät sähköisesti nämä kaksi pintaa. Tämä kaksiosainen toiminto saadaan aikaan polymeerisideaineella ja johtavilla täyteaineilla. Sideaineena toimiva polymeeri tarjoaa mekaanisen lujuuden ja johtvat täyteaineet varmistavat sähköisen johtumisen. /28, 29/

Sähköä johtavat liimat tarjoavat ympäristöystävällisen ratkaisun elektronisiin käyttötarkoituksiin. Jatkuva kehitys ja parannus sähköä johtavissa liimoissa on johtanut juotoksien korvaamisen sähköä johtavilla liimoilla monissa elektronisissa käyttötarkoituksissa. Sähköä johtavat liimat tarjoavat potentiaalisia etuja perinteiseen juottamiseen nähden, kuten mahdollisuuden tiheään liitosvälin, matalammat prosessilämpötilat sekä joustavammat ja helpommat tuotantoprosessit. Sähköä johtavat liimat tarjoavat myös suuremman joustavuuden ja matalamman resistanssin lyijyttömiin pastoihin verrattuna ja ne mielletäänkin uuden sukupolven liitosmateriaaleiksi. Kuitenkin tällä hetkellä saatavina olevilla sähköisesti johtavilla liimoilla on alhainen sähköjohtavuus, rajoitettu sähkövirrankyky ja huono iskukestävyys. /31, 32/

Sähköisesti johtavat liimat, pääasiassa hopeatäytetyt epoksit, ovat korvaamassa juotteen käytön. Tämä johtuu vahvasti lyijyyn liittyvistä terveydellisistä riskeistä. Sähköisesti johtavat polymeeriliimat kovettuvat 80–140 °C:ssa, kun taas useille juotteille kovettuminen tapahtuu 220–240 °C:ssa. Sähköisesti johtavia liimoja voidaan käyttää LCD ja älykorttien sovelluksissa kokoonpanomateriaalina sekä Flip – Chip, CSP (Chip Scale Package) ja BGA (Ball Grid Array) sovelluksissa. /31/

3.1. Polymeerit

Polymeeri on suurikokoinen orgaaninen molekyyli eli makromolekyyli koostuen pienistä molekyyleistä, monomeereista. Monomeerit liittyvät toisiinsa kemiallisen reaktion kautta. Monomeerit muodostuvat verkkomaiseksi tai ketjumaiseksi rakenteeksi polymerisaatioksi kutsutussa prosessissa. /33, 34/

Polymeerit voidaan jakaa kertamuoveihin (mm. epoksi, polymides, silikooni pohjaiset liimat) tai kestumuveihin (Taulukko 3.1) riippuen niiden rakenteesta. Muoveilla on korkea polymeraatioaste tarkoittaen sitä, että ne ovat muodostuneet 1000–100 000 monomeerista. /33, 34/

Elektroniikassa merkittävämät polymeerityypit ovat epoksi, silikoni, akryyli, polyuretaani ja polyamidi. Yleisesti ottaen polymeerillä on yhteisiä ominaisuuksia, mutta kuitenkin pieniä ominaisuuseroja on havaittavissa. /35/

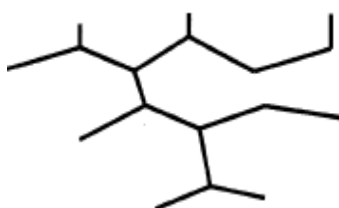
Taulukko 3.1. Kertamuovit (termoseptiset) ja kestumuoivit (termoplastiset). /36/

Polymeeri	Ominaisuudet ja sovellukset
Termoseptiset	
Epoksit	Korkea lujuus, kuitulujitteisiin säiliöihin esim. saostuskaivot
Polyesterit	Yleisiin rakenteisiin, yleensä kangaslujitteisena
Fenolit	Korkean lämpötilan sovelluksiin
Silikonit	Sähkötekniisiin sovelluksiin, esim. painettujen piirilevyjen pohjat
Termoplastiset	
Nylon 66 Polykarbonaatti Polystyreeni	Epätavallisempia, erittäin hyvä sitkeys

3.1.1. Kertamuovit

Kertamuovit eli termoseptiset materiaalit koostuvat polymeerihartsista; ei-polymerisoidusta monomeerista, joilla on alhainen molekylaarinen paino tai osittainen polymerisoitu oligomeeri. Nämä hartsit ovat nesteitä tai helposti sulavia kiinteitä aineita. Kovete, joka katalyyttinä käynnistää kemiallisen sidoksen polymeerihartsin kanssa, muodostaa kemiallisesti ristilinkitetyn verkoston, jolla on suuri molekylaarinen paino, kuten kuvassa 3.3 on esitetty. /37/

Polymeeriverkosto säilyttää muotonsa lämpötilan noustessa T_g -pisteeseen. Lämpöä lisäämällä mahdollistetaan ketjujen liikkuminen verkoston välissä, jonka johdosta polymeeri pehmenee. /37/



CROSS-LINKED MACROMOLECULES

Soften and decompose at temp.
Irreversible

Rework difficult, char residues

Long cures (minutes to hours)

Require hardeners/catalysts

High adhesive strength

Resistant to solvents, high
temperatures, and radiation

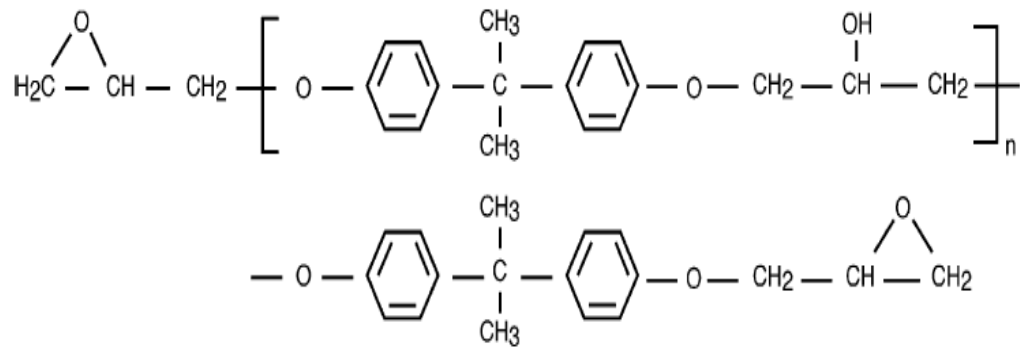
Kuva 3.3. Termoseptisten materiaalin rakenne. /35/

Epoksi on kertamuovi, joka muodostuu epoksihartsin reagoiessa kovetteen kanssa. Useimmat kaupallisesti saatavat epoksihartsit perustuvat bisfenoli-A:n diglysidyylietterin, bisfenoli-F sekä muihin fenolipohjaisiin yhdisteisiin. Epoksihartseja joita myös käytetään liimoissa, perustuu polybutadieeni tai sykloalifaattisiin olefineihin kuten kuvassa 3.4 on esitetty. /35/

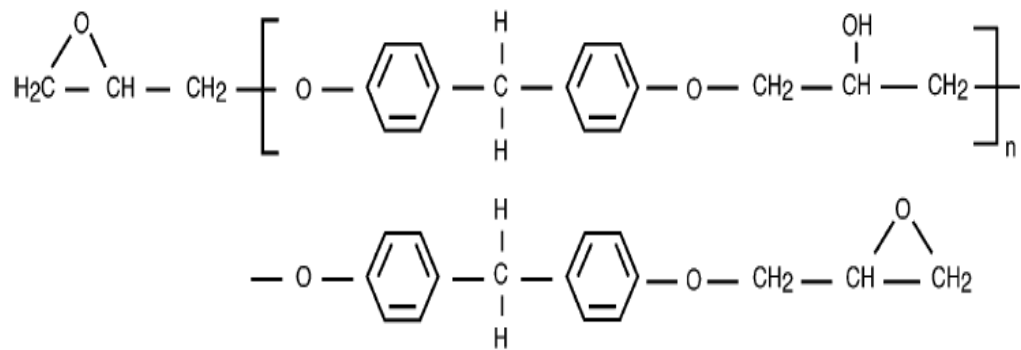
Epoksihartsit, jotka perustuvat bisfenoli-A:n diglysidyylietterin (DGEPA) ja joiden viskositeetti on 8,000 cps ja 20,000 cps välillä, ovat useimmiten käytettyjä koostumuksia liimojen formuloinnissa. DGEBA hartsit muodostuvat, kun epikloorihydriini reagoi bisfenoli-A:n kanssa natriumhydroksidin ollessa läsnä, kuten kuvassa 3.5 on esitetty. /35/

Epoksihartsit voidaan kovettaa monen erilaisen kovetusaineen kanssa. Kovetusaineena voidaan käyttää mitä tahansa yhdistettä, joka sisältää epävakaan vetyatomien ja hydroksyyliiryhmän. Näitä voivat olla esim. amiinit, polyamidit, ”carboxylic” happo, anhydritit tai amidi-amiinit. Yleisesti ottaen lähes kaikki yhdisteet, joissa on reaktiivinen vety, voivat reagoida oxirane (epoksi) renkaiden kanssa ja aloittaa polymerisaatio prosessin. /35/

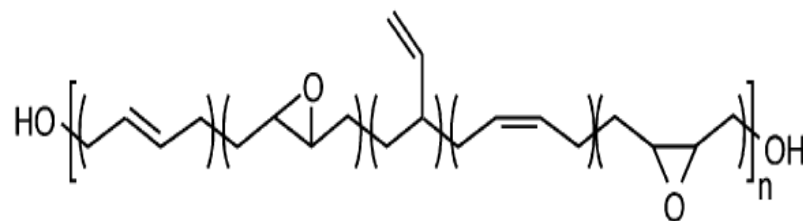
Epoksi pohjaiset liimat ovat useimmiten käytettyjä ja ovatkin polymeerityypeistä kaikkein monipuolisimpia. Epoksiliimat yhdistävät haluttuja ominaisuuksia, kuten liimaliitoksen kestävyys, lämpöstabiilisuus, uudelleenkorjattavuus, eriteominaisuus sekä eri ominaisuuksien pysyminen suurien termomekaanisten stressien ja ympäristöalistumisen, kuten kosteuden alla. Kovetteiden, katalyyttien ja täyteaineiden avulla sekä kontrolloimalla kovettumisen lämpötilaa voidaan muuttaa ja räätälöidä haluttuja sovelluksia. /35/



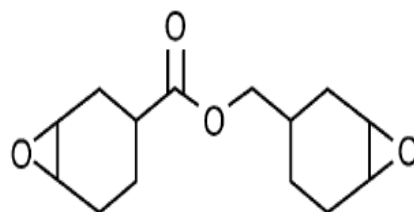
Diglycidylether of bisphenol-A epoxy resin



Diglycidylether of bisphenol-F epoxy resin

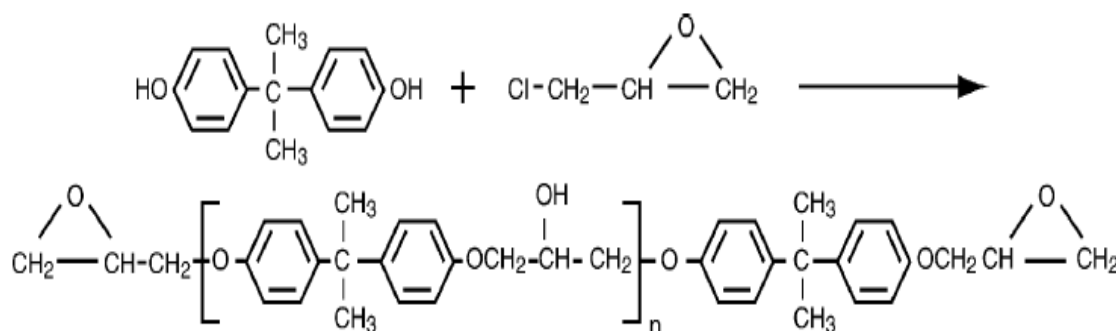


Epoxidized polybutadiene resin



Cycloaliphatic epoxy resin

Kuva 3.4. Epoksihartsiin rakenteet. /35/



Kuva 3.5. DGEBA hartsin muodostuminen. /35/

Epoksien adheesio on suuri verrattuna muihin polymeerityyppien adheesioon. Tämä johtuu epoksin erittäin korkeasta polaarista rakenteesta ja niiden kyvystä kostua useimmille pinnoille. Täysin kovettuneella, sähköisesti eristävällä epoksiliimalla riippumatta käytetystä kovetusaineesta on loistavat sähköiset ominaisuudet. Resistiivisyys vaihtelee $10^{12} \text{ ohm} - \text{cm}$ ja $10^{15} \text{ ohm} - \text{cm}$ välillä, eristevakio on 2,8 ja 4,8 välillä ja häviökerroin on 0.03 ja 0.04 välillä mitattuna 25 C ja 1MHz. /35/

Epoksien haittapuolena voidaan pitää niiden kaksikomponenttistämuotoa, niiden luonteisesti puuttuvaa sitkeyttä sekä rajoitettua toimivuutta muoveissa. Koska perushartseilla on varsin korkea molekulaarinen paino, alhaisen viskositeetin liimoja on vaikea muodostaa ilman lisäaineita. Taulukossa 3.2 on esitetty epoksiliimojen etuja ja rajoitteita. /38/

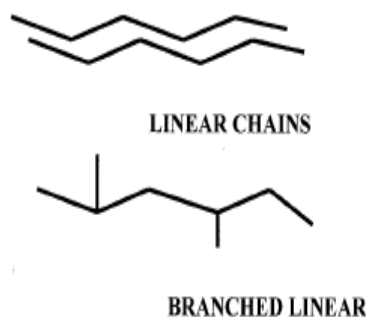
Taulukko 3.2. Epoksiliimojen etuja ja rajoitteita. /38/

Advantages	Disadvantages
High bond strengths	Two-component – require precise mixing
Excellent gap filling	Slow curing
Bond a wide range of materials	Somewhat brittle
Excellent solvent and water resistance	Limited performance on plastics
Excellent heat resistance	Strength reduced on dirty surfaces
Readily filled	Very low viscosities unattainable
100% solids – no solvents	Some hardeners are toxic
	Many hardeners have high odour

3.1.2. Kestomuovit

Kestomuovit eli termoplastiset materiaalit koostuvat pitkistä lineaarisista ketjuista, jotka ovat fysikaalisesti sekaisin, kuten kuvassa 3.6 on esitetty. Lämpötilan noustessa korkealle yli lasisiirtymälämpötilan T_g -pisteen alkavat ketjut liikkumaan itsenäisesti toisistaan niin, että polymeeri nesteytyy. Jäähdyttämällä T_g - pisteen alapuolelle polymeeri ”jäätty”, jolloin rakenneketjuilla on puutteellinen mobiliteetti liikkua. Polymeeri saadaan taas nesteytettyä lämmittämällä T_g -pisteeseen ollen täten muokattavissa kuten pastat. /37/

Termoplastisilla liimoilla on hyvä uudelleen korjattavuus ja ne tarjoavat lyhyemmän liitosprosessin. Koska termoplastiset polymeerit pehmenevät tai sulavat tietyssä lämpötilassa, niiden suorituskyky on rajallinen. Toinen huolen aihe on termoplastisten polymeerien kyky virrata voiman vaikutuksesta. /29/



Soften and liquify at melt temp.
Resolidify on cooling

Easy rework, no clean

Quick setting (seconds to minutes/no cure)

High purity, low outgassing

Poor-to-marginal resistance to solvents,
temperature, and radiation

Kuva 3.6. Termoplastisten materiaalien rakenne. /35/

3.2. Johtavien liimojen karakterisointi

3.2.1 Johtavat metallipartikkelit

Sähköisesti johtavat liimat ovat komposiittimateriaaleja eli seostettuja polymeerejä. Polymeeristä saadaan sähköisesti johtava, kun siihen lisätään metallisia täyteaineita kuten esim. hopeaa, nikkeliä, kuparia tai kultaa. Taulukossa 3.3 on esitetty johtavina metallipartikkeleina käytettyjen materiaalien etuja ja haittoja. /39, 40/

Taulukko 3.3. Johtavien metallipartikkeleiden ominaisuuksia. /41/

Filler (use)	Advantages	Disadvantages
Silver	Very high conductivity	High cost; silver migration occurs
Gold	Very high conductivity, very stable	Higher cost than silver
Copper	Very high conductivity, low cost	The conductivity decreases with ageing at moderate temperatures
Nickel	Good conductivity, moderate cost	Easily oxidised at high temperatures The conductivity decreases with ageing

Polymeerikomposiittiin sähköiseen johtavuuteen vaikuttaa olennaisesti käytetyn johtavan metallipartikkelin määrä, muoto ja koko. Johtavien partikkeleiden resistiivisyys vaikuttaa olennaisesti komposiitin resistiivisyyteen. Taulukossa 3.4 on esitetty johtavien aineiden resistiivisyys. /39, 40/

Taulukko 3.4. Eri metallien resistiivisyysarvoja. /42/

METAL	VOLUME RESISTIVITY (Ω -cm)
Silver	1.6×10^{-6}
Copper	1.8×10^{-6}
Gold	2.3×10^{-6}
Aluminium	2.9×10^{-6}
Nickel	10×10^{-6}
Platinum	21.5×10^{-6}
Graphite	1.3×10^{-6}

3.2.1.1. Hopea

Hopea on useimmiten käytetty täyte isotrooppisissa liimoissa johtuen hopean korkeasta sähkön johtavuudesta, kemiakaalisesta tasapainosta sekä hopean halpuudesta. Toisin kuin muut metallit hopean hapettuminen ei merkittävästi vaikuta materiaalin johtavuuteen. Toinen tärkeä ominaisuus on, että hopea on helposti muokattavissa erikokoisiksi ja muotoisiksi partikkeleiksi. /29/

Hopeatäyteaineet valmistetaan usein hiutalemuodossa ja esikäsitellään orgaanisten voiteluaineiden kanssa taaten asianmukaisen reologian. Käytetty orgaaninen voiteluaine hopeahiutaleiden pinnalla voi suuresti vaikuttaa johtavien liimojen suorituskykyyn. /29/

3.2.1.2. Nikkeli

Nikkelin kyky vastustaa hapettumista mahdollistaa sen käytön johtavana täyteaineena. Kuitenkin kovana, huonosti mukautuvana metallina, nikkeliä ei voida helposti valmistaa optimoituun geometriaan. /29/

Isotrooppisesti johtavissa liimoissa käytetty nikkeli takaa korkeamman kontaktiresistanssin verrattuna hopeapohjaiseen liimaan. Nikkeli on kuitenkin löytänyt paikkansa pallomuotoisena partikkelina anistrooppisissa liimoissa. /29/

3.2.1.3. Muut metallit

Myös kultaa ja kuparia käytetään johtavana täyteaineena. Kuparin sähkönjohtavuus on erittäin hyvä, mutta käsittelemättömällä kuparilla on huono kemiallinen stabiilisuus johtuen sen oksidoitumisesta ja korroosiosta. Kultaa käytetään vain erittäin vaativiin sotilas- tai avaruussovelluksiin johtuen kullan kalliista hinnasta. /29, 40/

3.2.1.4. Metallipinnoitetut partikkelit

Jossain sovelluksissa, erityisesti anistrooppisissa liimoissa voidaan käyttää metallipinnoitettuja johtavia partikkeleita. Alun perin näiden metallipinnoitettujen partikkelien käyttötarkoitus oli kulujen pienentäminen, mutta nykyään useita metallipinnoitettuja partikkeleita valmistetaan tiettyjen ominaisuuksien takia. Ei -metallisten aineiden kuten lasin ja muovin päällä käytetään usein hopeaa, nikkeliä tai kultaa metallipäällysteenä. /29/

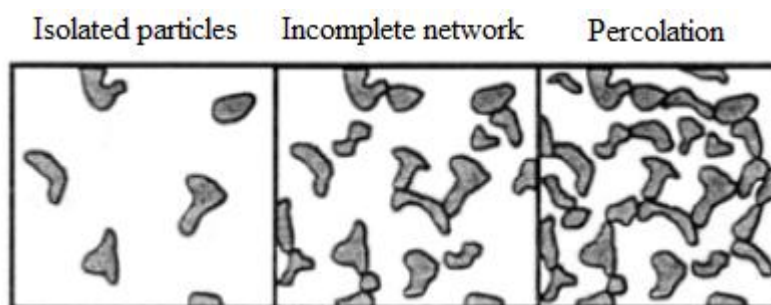
3.2.2. Perkolaatio

Perkolaatiolla kuvataan resistiivisyyden muuttumista, kun polymeerikomposiittiin lisätään johtavia partikkeleita. Perkolaatio-ilmiön esittivät Broadbent ja Hammersley lähes 45 vuotta sitten. Siitä lähtien perkolaatioteorian ideaa ja metodeita on sovellettu niin fysiikan kuin kemiankin aloilla. /39, 43/

Yksinkertaisesti perkolaatio voidaan kuvata sijoittamalla satunnaisesti metallisia ja muovisia palloja hyvin suureen säiliöön. Jos kaksi metallista palloa koskettavat toisiaan, voi virta siirtyä toisesta metallipallosta toiseen. Mikäli metallisten pallojen määrä on tarpeeksi korkea saavuttaakseen kriittisen tiheyden, jatkuva johtava sähköinen yhteys metallien välillä voidaan vahvistaa. Mitä suurempi on metallisten pallojen määrä, sitä paremmin ovat metallipallot toisiinsa yhdistyneet johtaen suurempaan sähkönjohtavuuteen. /44/

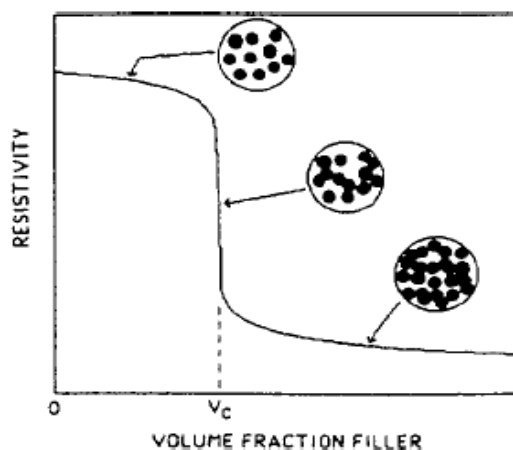
3.2.3. Perkolaatiokynnys

Perkolaatiokynnykseksi eli kriittiseksi tilavuusosuudeksi kutsutaan tilaa, jolloin komposiittimateriaali alkaa johtaa. Kun riittävä määrä johtavia partikkeleita on läsnä, muodostavat ne johtavan verkoston, kuten kuvassa 3.7 on esitetty. Tällä pitoisuusalueella voi johtavuus vaihdella rajusti johtavien partikkeleiden määrästä riippuen. /39, 40, 45, 46/



Kuva 3.7. Perkolaatiokynnyksen muodostuminen. /47/

Perkolaatiokynnys kuvaa alinta johtavien partikkeleiden määrää, jolloin matriisi alkaa johtaa. Johtavuuden saavuttamisen jälkeen kasvaa sähkönjohtavuus nopeasti johtavien partikkeleiden funktiona vaikuttaen polymeeriseoksen resistiivisyyden laskuun kriittisellä tilavuusosuudella V_c kuten kuvassa 3.8 on esitetty. /39, 40, 45, 46/



Kuva 3.8. Johtavan komposiitin perkolaatioteoria. /40/

Suuri määrä johtavia täyteaineita vähentää materiaalin mekaanisia ominaisuuksia, kuten iskunkestävyyttä. Saadakseen yhdisteen parhaat mahdolliset ominaisuudet esiin, on johtokyky saavutettava mahdollisimman pienellä täyteaine lisäyksellä. Ruschau and Newnham ovat tutkineet materiaalin ja valmistuksen parametreja hallitakseen kriittistä tilavuusosuutta V_c johtavassa metallipolymeeriyhdisteessä. Kun johtavan täyteaineen partikkelikoko pienenee, yksittäisten partikkeleiden vetovoima ja hylkiminen lisääntyy, jolloin ”backing” tiheys vähenee. Tästä johtuen täyteaineen kriittinen tilavuusosuus kasvaa partikkelikoon pienentyessä. Lisäksi pallomaisten täyteaineiden käyttö alentaa kitkaa täytepartikkeleiden välissä johtaen kriittisen tilavuusosuuden lisääntymiseen. /48/

McQueen et al. ovat esittäneet erilaisia malleja perkolaatiolle, joissa johtavan täyteaineen konsentraatiolla ja muodolla on suuri vaikutus perkolaatiokynnykselle. Konsentraatiovaihteluiden katsottiin olevan tulos useista prosesseista kuten epätäydellinen sekoittaminen, huokosten muodostuminen jäähdätyksen aikana, polymeerin kutistuminen kovetuksen aikana ja virtaus puristuksen aikana. McQueen et al. kokeellisten tutkimusten tulokset, jotka havaittiin etyleeni-butyyli-akrylaatti / hiilimustakomposiittiyhdisteessä, tukevat teoriaa, että epäsäännöllisten täytepartikkeleiden muoto, erityisesti suippo / pitkänomainen muoto vähentää perkolaatiokynnystä. Tämä tarkoittaa sitä, että täytepartikkeleiden muoto ja suuntaus vaikuttaa perkolaatiokynnykseen. Tutkimustulosten mukaan on mahdollista arvioida perkolaatiokynnyksen parametrit käyttäen hyväksi kaavaa. /48/

$$c < c^*$$

$$\sigma_c = \frac{\sigma_m}{(c^* - c)^s} \quad (3-1)$$

$$c > c^*$$

$$\sigma_c = \sigma_f (c - c^*)^t \quad (3-2)$$

$$c < c^*$$

$$\sigma_c = \left[\frac{\sigma_f}{\sigma_m} \right]^{\frac{t}{s+t}} = \sigma_f \left[\frac{\sigma_m}{\sigma_f} \right]^{\frac{s}{t+s}} \quad (3-3)$$

jossa:

c Johtavan partikkelin tilavuusosuus

c^* Perkolaatiokynnys

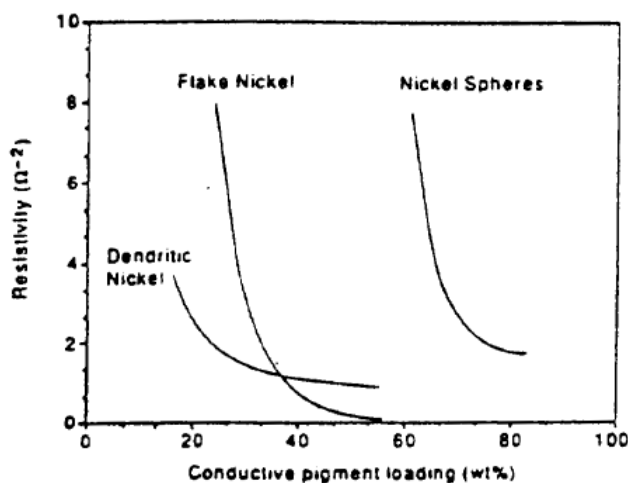
σ_c Komposiitin johtavuus

σ_m Polymeerimatriisin johtavuus

t Käyrän kulmakerroin

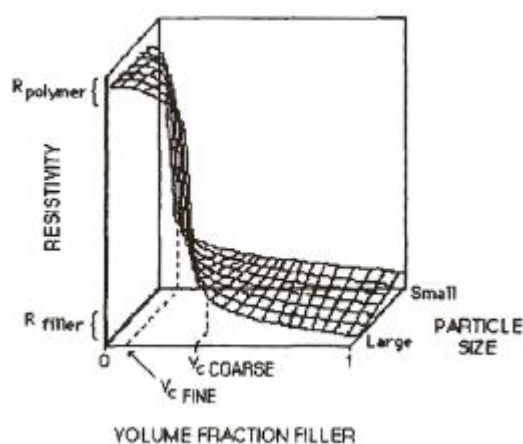
s Käyrän kulmakerroin /48/

Johtavien partikkeleiden muodolla on vaikutusta polymeerin resistiivisyyteen, kuten kuvassa 3.9 on esitetty. Johtavat partikkelit voivat olla muodoltaan esim. liuskemaisia tai pallomaisia. Liuskemaisilla partikkeleilla on suurempi kosketuspinta-ala kuin pallomaisilla partikkeleilla johtuen niiden suuremmasta sivusuhteesta. Tästä johtuen saadaan aikaan johtavuus pienemmällä täytemäärällä. /39, 40/



Kuva 3.9. Partikkelimuodon vaikutus resistiivisyyteen. /40/

Perkolaatiokynnyksen saavuttamiseen vaikuttaa myös partikkelin koko, kuten kuvassa 3.10 on esitetty ja näin ollen täyteainemäärä. Kuvasta näkyy, miten suuri ja pieni partikkelikoko vaikuttavat resistiivisyyteen. Sähköinen johtavuus saadaan aikaan myös pienemmällä täyteaineen lisäyksellä, mikäli johtavat partikkelit ovat muodoltaan pienempiä. Tällöin ne pääsevät helpommin tunkeutumaan polymeeripartikkeleiden välisijoihin. /39, 40/

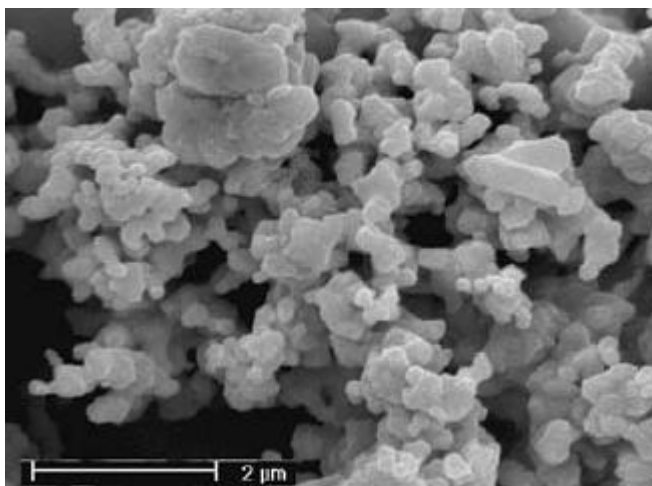


Kuva 3.10. Partikkelikoon vaikutus resistiivisyyteen. /39/

3.2.4. Nanopartikkeleiden vaikutus perkolaatiokynnukseen

Lee et al. ovat tutkineet perkolaatiokynnystä käyttäen hopea mikro- ja nanopartikkeleita polyvinyylisetaatin kanssa. Tulokset osoittavat, että perkolaatiokynnys on suurempi nanopartikkeleita käytettäessä kuin mikropartikkeleita käyttäessä. Kotthaus et al. taas tutkivat epoksiyhdistettä, jossa on kasaantuneita Ag nanopartikkeleita. Ag partikkeleiden koko oli 100 nm ja Ag kasaantumien koko 30 μm . He havaitsivat, että termomekaaniset ominaisuudet yhdisteissä, jotka sisälsivät Ag nanopartikkeleita, olivat parempia kuin yhdisteet, jotka sisälsivät Ag-hiutale partikkeleita. Kuitenkin nimellinen resistiivisyys oli pienempi kuin Ag hiutaleita käyttäessä. /48/

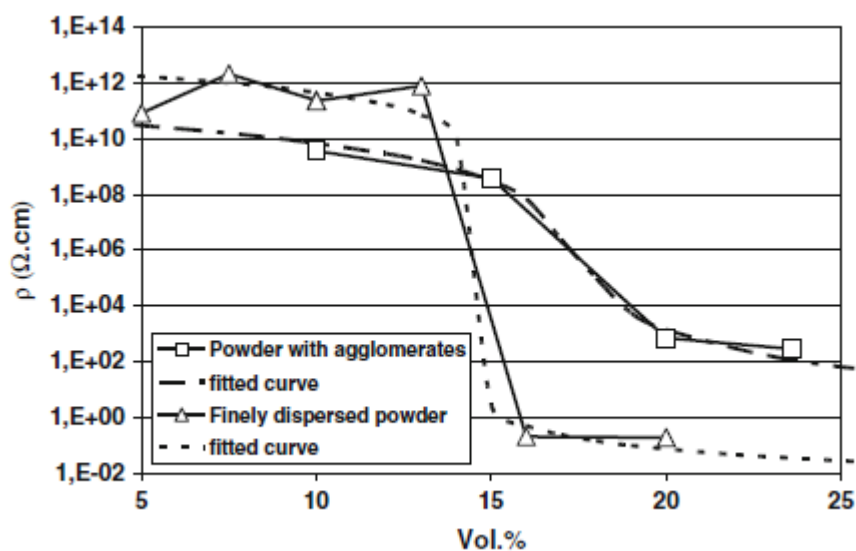
Karttunen et al. ovat tutkineet nanokomposiittien vaikutusta perkolaatioon. Heidän tavoitteensa oli saavuttaa korkea johtavuus käyttäen pientä määrää johtavia metallipartikkeleita. Täten on mahdollista säilyttää polymeerimatriisiin hyvät mekaaniset ominaisuudet. Etuna nanokomposiittien käytössä on, että johtavan hopean määrä on pieni, jolloin polymeeri voidaan käsitellä tavanomaisilla prosessimenetelmillä. Tutkimuksessa käytetty sähköisesti johtava nanoyhdiste oli valmistettu hopeananopartikkeleista, joita oli kolme erilaista; tiukasti kasaantuneita partikkeleita, ei – kasaantuneita nanopartikkeleita, joiden keskimääräinen koko oli 100 nm ja alle 100 nm. Hopeananopartikkelit olivat valmistettu nesteliekkiruiskutus menetelmää käyttäen, jossa lähtöaineena oli hopeanitraattinen vesiliuos, kuten kuvassa 3.11 on esitetty. Hopeananohiukkaset sekoitettiin SEPS (styrene-ethylene propylene- styrene copolymer) ja PP (isotactic polypropylene) kanssa, joita käytettiin matriisimateriaalina. /48/



Kuva 3.11. Nesteliekkiruiskutuksella valmistetut nanopartikkelit /48/

Perkolaatiokäyrä on esitetty kuvassa 3.12. Nanoyhdisteillä, jotka sisälsivät ei-kasaantuneita partikkeleita, oli perkolaatiokynnys 13 vol. %:n ja 16 vol. %:n välillä. Nanokomposiiteilla, jotka sisälsivät kasaantuneita hopeapartikkelilta, oli perkolaatiokynnys 16 vol. %:n ja 20 vol. %:n välillä. Käyrän perusteella arvioitu perkolaatiokynnys olisi 17.4 % kasaantuneille partikkeleille ja 14.5 % erillään oleville partikkeleille. Lisäksi eksponentit s ja t olivat merkittävästi isommat kasaantuneilla partikkeleilla ($s = t = 2.8$) kuin hajaantuneilla partikkeleilla ($s = t = 1.74$). /48/

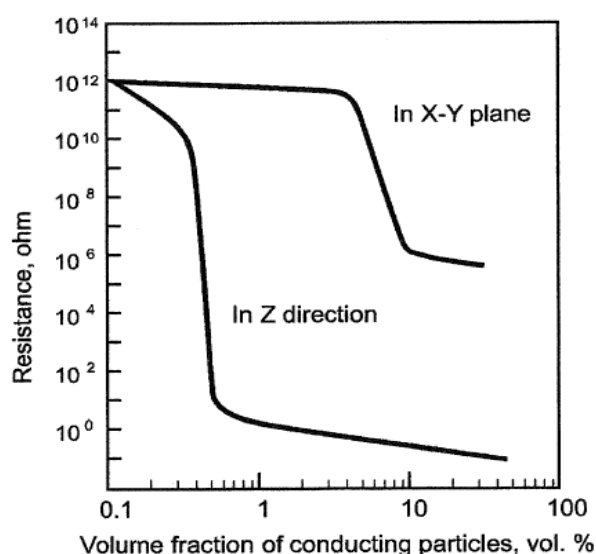
Tulokset osoittivat, että agglomeroituneilla hopeananopartikkeleilla on merkittävä vaikutus perkolaatiokynnykseen ja yhdisteen resistiivisyyteen. Hieman kasaantuneiden hopeananopartikkeleiden kanssa saavutettiin perkolaatiokynnys 13–16 vol % välillä. Vastaava resistiivisyys oli $2 \times 10^{-1} \Omega cm$. Tiukasti kasaantuneilla partikkeleilla oli resistiivisyys $2.9 \times 10^3 \Omega cm$ hopeapitoisuuden ollessa 20 vol. %. /48/



Kuva 3.12. Resistiiivisyyden muutos täyteaineen funktiona nanokomposiitti materiaalissa. /48/

3.3. Anisotrooppisesti johtavat liimat

Anisotrooppisesti johtavilla liimoilla (Anisotropic Conductive Adhesive, ACA) on ominaisuus johtaa virtaa yhdensuuntaisesti, eli ainoastaan yhtä akselia pitkin. Tämä ominaisuus saavutetaan pitämällä johtavien partikkeleiden konsentraatio isotrooppisuuden alapuolella, toisin sanoen johtavien partikkeleiden konsentraatio on rajoitettu johtamaan sähköä ainoastaan z-akselin suuntaisesti eikä x-y tasossa, kuten kuvassa 3.13 on esitetty. /28, 32/

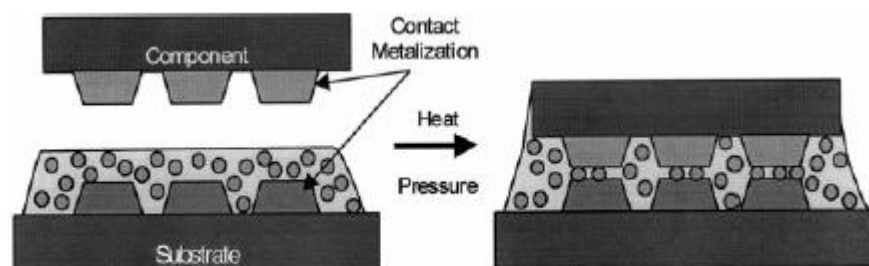


Kuva 3.13. Tilavuus vs. resistiivisyys anisotrooppisesti johtavassa liimassa. /35/

Anisotrooppisesti johtavat liimat valmistetaan hajottamalla sähköisesti johtavia partikkeleita liimamatriisiin, jossa konsentraatio on perkolaatiokynnyksen alapuolella. Partikkeleiden konsentraatiota kontrolloidaan siten, että riittävä määrä partikkeleita on läsnä sovellettavissa osissa varmistaakseen monikertaisen sähköisen kontaktin z-suuntaisesti kuitenkin niin, että johtuminen perkolaation kautta x-y suuntaisesti jää saavuttamatta. /28, 32/

Anisotrooppisesti johtavia liimoja on saatavilla kahdessa eri muodossa, yksikomponenttisina lämpökovetettavina nesteinä tai pastoina tai lämpökovetettavina termoplastisina ja termoseptisinä filmeinä. Kaupallisesti merkittävimmät anisotrooppisesti johtavat liimat perustuvat yksikomponenttisiin liimoihin. Liimaliitoksia, joiden liitosväli on alle 40 µm, on havainnollistettu ACA sovelluksissa. Kuvassa 3.14 on esitetty periaate liitoksesta. Liima levitetään substraattiin täyttäen liitosalue. Liiman levityksen jälkeen kohdistetaan komponentti substraatin päälle ja asetetaan liimaan. Paineen ja lämmön samanaikaisella sovelluksella ylijäävä liima syrjäytyy, jolloin yksittäiset johtavat partikkelit ovat loukussa substraatin ja liitosvälissä, muodostaen johtavan liimaliitoksen. Pallonmuotoisia johtavia partikkeleita

(sivusuhte = 1) käytetään ACA liimoissa, jolloin pystytään alentamaan johtumisen todennäköisyyttä x-y tasolla. Myös kapeiden partikkeleiden käyttö tietyssä konsentraatiossa vähentää perkolaation todennäköisyyttä x-y tasossa. Liiman kutistuminen kovetuksen aikana, liiman supistuminen jäähtymisen aikana ja vahva adheesio kaikilla pinnoilla ylläpitää metallipartikkeliliitosten puristuksen rajapinnassa, joka on välttämätöntä luotettavan sähköisen kontaktin luomisessa. /28, 32/



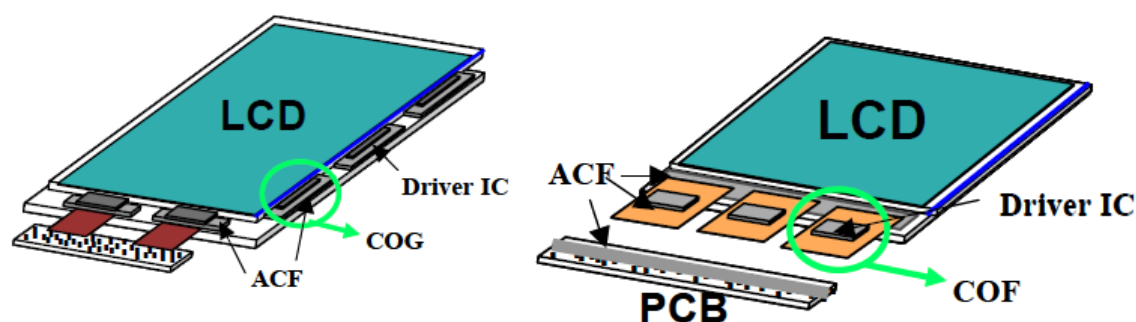
Kuva 3.14. Anisotrooppisesti johtavan liimaliitoksen periaate. /28/

Anisotrooppisesti johtavia liimoja voidaan käyttää takaamaan rakenteellisesti kestävä sähköinen liitos. Tällä hetkellä markkinoilla 90 % kaikista myydyistä ACA liimoista on filmejä, joita käytetään litteiden näyttöjen sovelluksissa. Myös filp–chip sovelluksissa, joissa juottamista ei voida soveltaa lämpöherkkien substraattien takia, käytetään anisotrooppisesti johtavia liimoja. /28, 32/

Tällä hetkellä käytettävissä olevat ACA liimat tarjoavat johtavien partikkeleiden satunnaisen levittäytymisen, toisin sanoen johtavat partikkelit eivät ole levittäytyneet organisoidusti, vaan ne voivat olla yhteyksissä toisiinsa tai puuttua halutulta alueelta kokonaan. Tämän takia ACA liimoissa on havaittavissa huokosia ja oikosulkuja. Tästä johtuen niiden käyttö huippuluokan elektronisissa sovelluksissa on rajoittavaa. Myös lämmön ja paineen samanaikainen sovellus matriisin kovettumisen aikana rajoittaa ACA liiman käyttöä. /28, 32/

3.3.1. Anisotrooppisesti johtavien liimojen käyttökohteet

ACF teknologiaa hyödynnetään paljon litteiden näyttöjen sovelluksissa. Tämä johtuu siitä, että niiden käyttö takaa korkean resoluution, kevyen painon, ohuen profiilin ja alhaisen virrankulutuksen. Onnistuneesti toteutettuja liitoksia on käytetty PCB (Printed circuit Board), COG (Chip-On-Glass), LCD (Liquid Crystal Display), PDP (Plasma Display Panel) ja OLED (Organic Light Emitting Diode Display) sovelluksissa. Kuvassa 3.15 on esitetty ACF käyttöä nestekidenäyttöissä. /31/



Kuva 3.15. ACA käyttö nestekidenäyttöissä (Liquid Crystal Display, LCD). /31/

3.3.2. Sähköisten ominaisuuksien parantaminen

Anisotrooppisesti johtavilla liimoilla on alhaisempi sähkönjohtavuus. Parantaakseen anisotrooppisesti johtavien liimojen sähköisiä ominaisuuksia voidaan ne käsitellä molekyylikerroskalvojen (SAM, self-assembled monolayer) kanssa. /49, 50/

SAM:t ovat amfiifilisiä molekyyliä, jossa toisella molekyylillä on pinta-aktiivinen pää. Tämä pää tarttuu kemisorptiolla tiettyyn pintaan. Alustamalla SAM materiaalia täyteaineen ja substraatin rajapinnan väliin saadaan aikaiseksi huomattavasti parantunut liitos. SAM molekyylit kiinnittyvät metallin pintaan ja muodostavat fyysis-kemiallisen liitoksen mahdollistaen elektronien virtauksen. Seurauksena on vähentynyt sähkövastus ja mahdollisuus korkeampaan sähkönvirtaukseen. SAM:n ainutlaatuiset ominaisuudet ovat peräisin niiden lineaarisesta ketjurakenteesta ja elektronien siirtymisestä tässä ketjurakenteesta. /49, 50, 51/

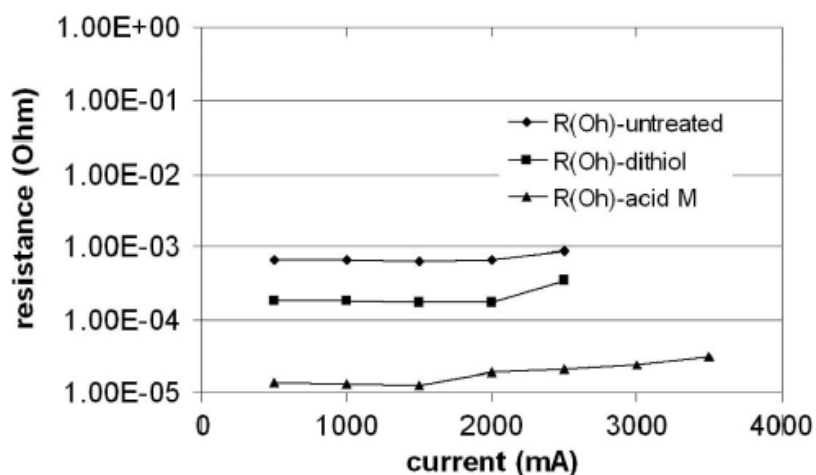
Parantuneiden sähköisten ominaisuuksien myötä, myös korkeampi lämmönjohtavuus on saavutettu. Haittapuolena voidaan pitää sitä, että SAM:n käyttö ei ole yhtä tehokasta korkeimmissa lämpötiloissa kuin matalissa. /50, 51/

3.3.3. Käsitellyt hopeananopartikkelit

Kokeellisia tutkimuksia on tehty molekyylikerroskalvojen (SAM) vaikutusten selvittämiseksi. Hopeananopartikkelit ja metalli pädit käsiteltiin maloonihapon (acid M) ja 1,4-benzenedithiol:n (dithiol) kanssa. Tämän jälkeen ne sisällytettiin ACA liitokseen. /51/

Kuvassa 3.16 on esitetty molekyylikerroskalvojen vaikutus resistiivisyyteen ACA liitoksissa. ACA, joka sisälsi käsittelemättömiä hopeananopartikkeleita oli resistanssi $n \cdot 10^{-3} \Omega$ ja korkein sovellettu virta oli 2500 mA. Yli 2500 mA viralla ei liimaliitos kestänyt. SAM:lla käsitellyt hopea nanopartikkelit ja substraatti osoitti merkittävästi parantuneen johtokyvyn, mikä oli tulkittavissa, kurvin kulmakertoimen dramaattisesta laskusta. ACA:t jotka sisälsivät ”dithiol” käsiteltyjä hopeananopartikkeleita resistanssi väheni $10^{-3} \Omega$ $10^{-4} \Omega$, mutta virrankyky oli sama kuin käsittelemättömässä ACA. Virran nostaminen yli 2500 mA vahingoitti liitoksen. ACA:t, jotka käsiteltiin happo M:n kanssa oli huomattavasti parempi resistanssi oli saavutettu $10^{-5} \Omega$. /51/

Tutkimuksen tuloksena huomattiin, että hopeananopartikkelit jotka olivat käsiteltyjä SAM:n kanssa, oli vaikutusta ACA liitoksiin. Sähkönjohtavuus ja virrankyky olivat parantuneet merkittävästi tehostettujen rajapintojen vuoksi. /51/



Kuva 3.16. Molekyylikerroskalvojen vaikutus resistiivisyyteen. /51/

3.4. Isotrooppisesti johtavat liimat

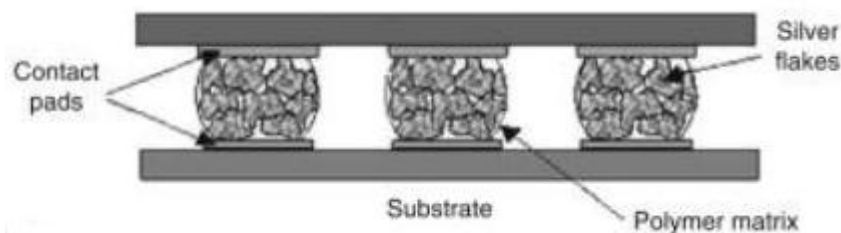
Isotrooppisesti johtavat liimat (Isotropic Conductive Adhesive, ICA) valmistetaan lisäämällä johtavia partikkeleita niin, että partikkeliverkosto ulottuu materiaalin kaikkiin suuntiin. Eli isotrooppisesti johtavat liimat johtavat zxy -suuntaisesti. Useissa sovelluksissa käytetään epoksia jotka sisältävät 30 vol % hopeatäyteainetta, jolloin sähkönjohtavuus on $1 \times 10^{-4} \Omega cm$. /28, 32/

ICA liimat koostuvat polymeerisideaineesta ja johtavista partikkeleista. ICA liimojen ominaispiirteet riippuvat olennaisesti näistä kahdesta osatekijästä. Eristävä matriisi voi olla joko kertomuovi- tai kestumuovipohjainen, riippuen sovelluksesta. Vaikkakin kestumuoveilla on etuja, kuten helppo uudelleenmuokattavuus ja kokoonpanonopeus, ei niitä juurikaan käytetä ICA liimoissa. Jäykät kertamuovit ovat yleisempi valinta tarjoten hyvän kestävyuden lämpöä, kosteutta ja mekaanista rasitusta vastaan. /28, 32/

Johtavien partikkeleiden konsentraation lisääminen eristävässä liimamatriisissa muuttaa komposiittien sähköisiä ominaisuuksia epäyhtenäisellä/keskeytyvällä tavalla. Partikkelikonsentraation noustessa tilavuudessa ei ole havaittavissa isoja muutoksia, koska partikkelit ovat eristetty toisistaan. Korkeammassa konsentraatioissa tapahtuu agglomeraation muodostuminen niin, että sähköinen johtuminen on staattisesti todennäköinen tietyllä etäisyydellä, jota kutsutaan perkolaation koheesion pituudeksi ξ . Perkolaatiokynnyksen saavuttamisen jälkeen komposiitista tulee isotrooppisesti johtava. /28, 32/

Useimmat isotrooppisesti johtavat liimat sisältävät johtavia partikkeleita, jotka ovat hiutalemuodossa. Hiutalemuodossa olevien johtavien partikkeleiden suhteellisen suuri sivusuhte alentaa perkolaatiokynnystä, mikä taas takaa liimalle hyvät reologiset ominaisuudet. Joissakin isotrooppisissa liimoissa sähköinen johtavuus kehittyy vasta, kun liima on lämpökovetettu, vaikkakin hopeapartikkeleiden konsentraatio on yli perkolaatiokynnyksen. Tämä johtuu rasvahappopinnoitteesta, joka on levitetty hopeahiutaleiden pinnalle niiden valmistuksessa. Kovettuminen lämmön vaikutuksesta ja reagoivien laimennusaineiden läsnäolo poistaa kalvon metallipinnasta ja tekee liimasta johtavan. /28, 32/

Isotrooppisesti johtava liima tulisi annostella vain kontaktinystyille, koska liima on jo perusmuodossaan johtava. Annostelu tapahtuu dispensoimalla kontakteille suoraan. Liiman kovettuminen saadaan aikaan lämpötilan korotuksella, jolloin myös sähköjohtavuus liimassa paranee. Kuvassa 3.17 on esitetty ICA liitoksen periaate. /52/



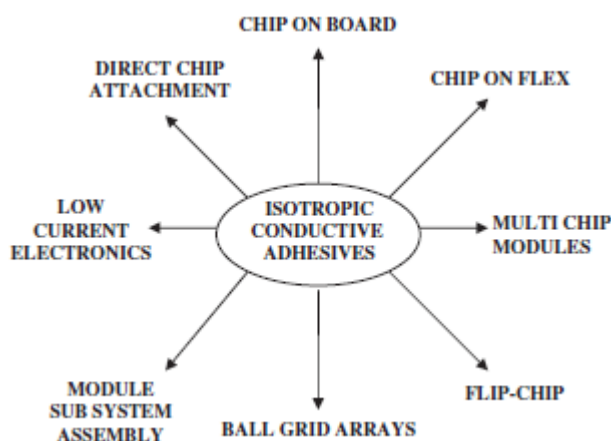
Kuva 3.17. Isotrooppisesti johtavan liiman liitosperiaate. /53/

Isotrooppisten liimojen tekniikassa on rajoituksia, joita tulisi kehittää. Tärkeimmät rajoitukset koskevat isotrooppisten liimojen alhaista johtokykyä, epävakaata kontaktiresistanssia sekä alhaista suorituskkyä. /54/

Isotrooppisesti johtavien liimojen johtokyky on alhaisempi kuin Sn – Pb pastojen. Vaikkakin yleisesti ottaen ICA liimojen johtokyky on asianmukainen, tulee sitä parantaa. ICA:n kontaktiresistanssi ei-jalometallien kanssa on huomattu dramaattisesti kasvavan ajan, lämpötilan sekä kosteuden johdosta. Lisäksi painettavien piirilevyjen sovelluksissa on huomattu altistuminen mekaanisille iskuille kokoonpanon ja käsittelyn aikana. ICA liimoilla on huono iskukyky, esim. komponenttien irtoaminen äkillisen iskun takia. /54, 55/

3.4.1. Isotrooppisesti johtavien liimojen käyttökohteet

Isotrooppisesti johtavia liimoja voidaan käyttää monissa eri sovelluksissa (Kuva 3.18). Varsinkin isotrooppisten liimojen käyttö Flip-chip sovelluksissa on herättänyt paljon mielenkiintoa tekniikan vaatiman tarkkuuden takia. /31, 32/.



Kuva 3.18. Isotrooppisesti johtavien liimojen sovelluskohteet. /32/

3.4.2. Johtokyvyn parantaminen

Isotrooppisesti johtavat liimat muodostuvat usein polymeeri sideaineesta sekä Ag hiutaleista. Ag hiutaleen pinnalla on ohut kerros orgaanista voiteluainetta, jolla on suuri merkitys isotrooppisten liimojen suorituskyvyssä. Tämä orgaaninen kerros, joka on muodostunut Ag pinnan ja voiteluaineen väliin, on Ag suolaa. Tämä voiteluainekerros vaikuttaa isotrooppisesti johtavien liimojen johtokykyyn, koska se on sähköisesti eristävä. Tämä orgaaninen voiteluainekerros tulee osittain tai kokonaan poistaa esim. joillakin kemiallisilla aineilla. Kerroksen poistamisella voi olla vaikutusta liiman viskositeettiin. /54, 55/

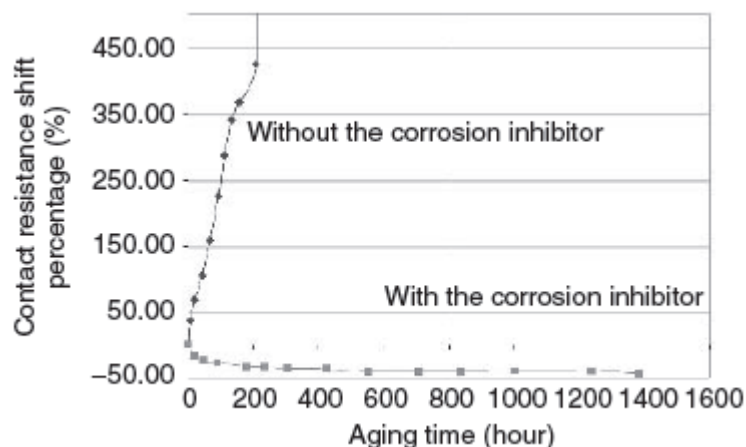
Yleisesti ICA:lla on alhainen johtokyky ennen kovettumista, mutta johtokyky kasvaa rajusti kovettumisen jälkeen. ICA saavuttaa johtokyvyn kovettumisen aikana, koska polymeeri kutistuu. Lisäämällä polymeerin kutistumista esim. lisäämällä epoksihartsia saadaan johtokyky nousemaan. /54, 55/

Kolmas tapa parantaa ICA liimojen johtokykyä saavutetaan käyttämällä sintrattuja metallisia täyteaineita. Täyteaine on metalliseos, jossa on korkean sulamispisteen omaava jauhe ja alhaisen sulamispisteen omaava jauhe. Tiettyyn lämpötilaan kuumennettaessa alhaisen sulamispisteen omaava yhdiste sulaa ja hajoaa täyteaineeseen ja lopulta kiinteytyy. Tuloksena on muodostunut metalgurinen verkosto ja näin ollen on saavutettu korkeampi sähkönjohtavuus. /54, 55/

3.4.3. Kontaktiresistanssin parantaminen

Galvaaninen korroosio tapahtuu vain märissä olosuhteissa. Galvaaninen korroosio tapahtuu, kun rajapintaan muodostuu elektrolyyttinen liuos. Tästä johtuen alentamalla kosteutta pystytään korroosio estämään. ICA:lla, joilla on alhaisempi imeytyminen, on havaittu parempi kontaktiresistanssi. Ilman elektrolyyttiliuoksen muodostumista on galvaaninen korroosio alhainen. Elektrolyyttiliuos muodostuu lähinnä polymeerisideaineen epäpuhauksista. Siksi ICA:t, jotka on valmistettu erittäin puhtaista polymeerisideainesta, omaavat paremman suorituskyvyn. /54, 55/

Toinen tapa estää galvaaninen korroosio on ottaa käyttöön joitakin orgaanisia korroosionestoaineita ICA muotoilussa. Orgaaniset korroosionestoaineet toimivat rajaesteenä metallin ja ympäristön välillä. Useimmat orgaaniset korroosionestoaineet reagoivat epoksihartsien kanssa tietyssä lämpötilassa. Tästä johtuen epoksipohjaisissa ICA:ssa epoksihartsit eivät saa reagoida inhibiittoreiden kanssa tai menettävät tehonsa. Kuvassa 21 on esitetty inhibiittorin vaikutus ICA ja Sn / Pb pinnan välillä. /54, 55/



Kuva 3.19. Inhibiittorin vaikutus ICA ja Sn / Pb pinnan välillä. /54/

3.4.4. Iskulujuuden parantaminen

Iskulujuuden parantaminen on erittäin kriittinen ominaisuus juotoskorvaaville ICA liimoille. Jatkuvia kehitystöitä iskukyvyyn parantamiseksi on kehitteillä. /54, 55/

Nanokokoisten metallipartikkeleiden käyttö ICA liimoissa parantaa liimojen sähköistä johtavuutta sekä niiden mekaanista lujuutta. Käyttämällä nanopartikkeleita muodostuu agglomeraatteja pintajännityksen takia. Toinen tapa parantaa iskunkestävyyttä on yksinkertaisesti vähentää täytepartikkeleiden määrää. Kuitenkin tämä lähestymistapa vähentää liiman sähköisiä ominaisuuksia. /54, 55/

3.5. ICA ja ACA liimojen prosessoitavuuden eroja

Isotrooppisesti ja anisotrooppisesti johtavien liimojen johtumismekanismien takia vaaditaan erilaisia prosessisovelluksia. Alla olevassa taulukossa 3.5 on esitetty isotrooppisten ja anisotrooppisten liimojen eroja prosessoitavuuden näkökulmasta. /28/

Isotrooppisesti johtavat liimat eivät vaadi ulkoisia menetelmiä, kuten painetta kovettumisen aikana, kun taas anisotrooppisesti johtavat liimat vaativat paineen käyttöä kovettumisen aikana. Isotrooppisten liimojen prosessoinnissa on niiden haittapuolena underfillin käyttö sekä liiman levitys ainoastaan halutulle paikalle. /28/

Anisotrooppisesti z-suuntaisesti johtavat liimat tarjoavat paljon kiinnostavia etuja. Liima voidaan levittää koko pinnalle, aiheuttamatta ei toivottua oikosulkua. Merkittäviä etuja ovat myös korkea resoluutiopotentiaali (tiheät liitosvälit), nopea kovettuminen ja mahdollisuus välttää hitaasti kovettuvia välitäytteitä flip-chip sovelluksissa. Kuitenkin rajoitettu virrantiheys ja paineen tarve kovettumisen aikana rajoittaa sovelluksia. /28, 56/

Taulukko 3.5. Isotrooppisesti ja anisotrooppisesti johtavien liimojen ominaisuuksien vertailu. /57/

ISSUE	Isotropic Adhesive	Anisotropic Adhesive
Application Difficulty	moderate	low
Application Speed	high	high - low
Assembly Speed	high	low
Cure in Place	no	yes
Special Bonder	no	yes
Joint Resistance	low	moderate
Joint Stability	high	moderate-low
Underfill Required	yes	no

3.6. Liimaliitosten edut ja haitat

Liimaliittäminen on erittäin ympäristöystävällinen prosessi. Tänä päivänä ympäristöystävällisyys korostuu entistä enemmän, mikä taas vahvistaa liimaliittämisen etuja. Myös mahdollisuus tiheään liitosväliin ja helppoihin prosesseihin ovat vahvistaneet liimojen käyttöä. Taulukoissa 3.6 ja 3.7 on luettavissa liimaliitosten etuja ja rajoituksia. /48, 59/

Taulukko 3.6. Liimaliitosten edut /58, 59/

Tiheämpi liitoväli
Alhainen prosessilämpötila; alhainen lämpörasitus prosessin aikana
Alhainen termomekaaninen vaurio
Alhainen tai merkityksetön VOC
Ei jäännöksiä; korkea pintaeriste resistanssi
Myrkyttömiä metalleja
Laaja prosessi; helppo kontrolloitavuus

Taulukko 3.7. Liimaliitosten rajoitukset /58, 59/

Ei itsekohdistuvuutta
Alhaisempi mekaaninen kestävyys
Korkeampi sähköinen resistanssi
Korkeampi lämpöresistanssi
Vaikea uudelleen muotoilu

3.6.1. Liimaliitosten kestävyys

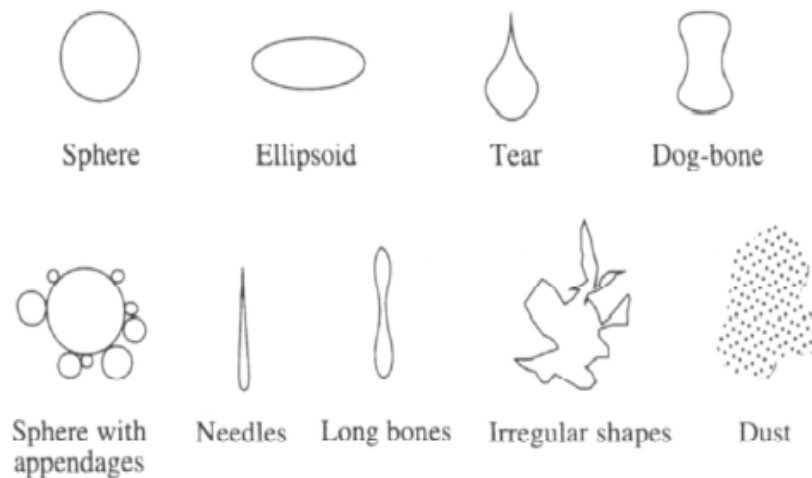
Liimaliitosten kestävyys sekä valmistuksen että käytön aikana on ratkaiseva tekijä. Liimaliitosten kestävyyttä kehitetään koko ajan, jotta juoteseokset voitaisiin korvata. Valmistuksen ja käytön aikana liimaliitokset voivat epäonnistua seuraavista syistä:

- Substraatin pehmeneminen tai vajoaminen kovettumisen aikana
- Huono tartunta
- Huono sijoitus tiheään liitosvälin komponenteissa
- Huono adheesio liiman ja substraatin välillä korkeissa lämpötiloissa
- Ajan vaikutus sähköisiin ominaisuuksiin
- Kosteuden imeytymiskyky johtaen korroosioon /58/

4. MATALANLÄMPÖTILAN PASTAT

Juotepasta on homogeeninen ja kineettisesti stabiili seos muodostaen sähköisen liitoksen komponenttien ja piirilevyn välille. Juotepasta koostuu kolmesta toiminnallisesta komponentista; juotemetallista, kantoaineesta ja fluksista. Kullakin kolmella toiminnallisella komponentilla on oma tehtävänsä. Juotemetallin tehtävä on muodostaa kestävä metallurginen sidos juotettavien pintojen välille. Kantoaineen tarkoitus on määrittellä pastan reologia ja fluksin tehtävä on puhdistaa juotettavat pinnat ja parantaa pintajännitystä. /60, 61/

Pastojen juotepitoisuus on useimmilla pastoilla 75–85 % ja fluksin osuus on 12–20 %. Juotepartikkeleiden koko vaihtelee 10–45 µm ja partikkeleita on saatavissa erimuotoisina, kuten kuvassa 4.1 on esitetty. Tuotanto keskittyy kuitenkin pääsääntöisesti pallomaisen juotepartikkelin tuotantoon. /62, 63, 64/



Kuva 4.1. Pastassa olevia erimuotoisia partikkeleita. /60/

Matalanlämpötilan pastoiksi luokitellaan pastat, joiden sulamispiste on alle 183 °C ja yli 50 °C. Useammat seokset, jotka täyttävät nämä vaatimukset sisältävät tinaa (Sn), vismuttia (Bi), indiumia (In) ja lyijyä (Pb). Näiden seosten avulla saadaan aikaan eutektinen seos. Eutektinen seos on metallinen seos, jossa metallien moolisuhteiden avulla saadaan aikaan mahdollisimman alhainen sulamispiste. Taulukossa 4.1 on lueteltu matalalämpötilan pastoja. /64, 65, 66/

Taulukko 4.1. Matalanlämpötilan juotepastoja. /66/

Chemical Composition	Liquidus Temperature (°C)	Solidus Temperature (°C)	Chemical Composition	Liquidus Temperature (°C)	Solidus Temperature (°C)
49Bi21In18Pb12Sn	58	58	34Pb34Sn32Bi	133	96
51In32.5Bi16.5Sn	60	60	56.84Bi41.16Sn2Pb	133	128
49Bi18Pb18In15Sn	69	58	38.41Bi30.77Pb30.77Sn0.05Ag	135	96
66.3In33.7Bi	72	72	57.42Bi41.58Sn1Pb	135	135
57Bi26In17Sn	79	79	36Bi32Pb31Sn1Ag	136	95
54.02Bi29.68In16.3Sn	81	81	55.1Bi39.9Sn5Pb	136	121
51.45Bi31.35Pb15.2Sn2In	93	87	36.5Bi31.75Pb31.75Sn	137	95
52Bi31.7Pb15.3Sn1In	94	90	43Pb28.5Bi28.5Sn	137	96
52.5Bi32Pb15.5Sn	95	95	58Bi42Sn	138	138
52Bi32Pb16Sn	95.5	95	38.4Pb30.8Bi30.8Sn	139	96
52Bi30Pb18Sn	96	96	33.33Bi33.34Pb33.33Sn	143	96
50Bi31Pb19Sn	99	93	97In3Ag	143	143
50Bi28Pb22Sn	100	100	58Sn42In	145	118
46Bi34Sn20Pb	100	100	80In15Pb5Ag	149	142
50Bi25Pb25Sn	115	95	99.3In0.7Ca	150	150
56Bi22Pb22Sn	104	95	95In5Bi	150	125
50Bi30Pb20Sn	104	95	42Pb37Sn21Bi	152	120
52.2Bi37.8Pb10Sn	105	98	99.4In0.6Ca	152	152
45Bi35Pb20Sn	107	96	99.6In0.4Ca	153	153
46Bi34Pb20Sn	108	95	99.5In0.5Ca	154	154
54.5Bi39.5Pb6Sn	108	108	100In	156.7	156.7
67Bi33In	109	109	54.55Pb45.45Bi	160	122
51.6Bi41.4Pb7Sn	112	98	70Sn18Pb12In	162	162
52.98Bi42.49Pb4.53Sn	117	103	48Sn36Pb16Bi	162	140
52In48Sn	118	118	43Pb43Sn14Bi	163	144
53.75Bi43.1Pb3.15Sn	119	108	50Sn40Pb10Bi	167	120
55Bi44Pb1Sn	120	117	51.5Pb27Sn21.5Bi	170	131
55Bi44Pb1In	121	120	60Sn40Bi	170	138
55.5Bi44.5Pb	124	124	50Pb27Sn20Bi	173	130
50In50Sn	125	118	70In30Pb	175	165
58Bi42Pb	126	124	47.47Pb39.93Sn12.6Bi	176	146
38Pb37Bi25Sn	127	93	62.5Sn36.1Pb1.4Ag	179	179
51.6Bi37.4Sn6In5Pb	129	95	60Sn25.5Bi14.5Pb	180	96
40In40Sn20Pb	130	121	37.5Pb37.5Sn25In	181	134
52Sn48In	131	118			

4.1. Matalanlämpötilan pastojen koostumus

Matalanlämpötilan pastat sisältävät yleisesti vismuttia, tinaa, indiumia, kadmiumia sekä lyijyä. Puhtaina nämä metallit ovat erittäin pehmeitä ja vaikeasti korjattavia. Näiden metalliseoksien eri pitoisuusmäärillä saadaan aikaan matalanlämpötilan pasta. Taulukossa 4.2 on esitetty kyseisten metallien ominaisuuksia. /66, 67/

Taulukko 4.2. Matalanlämpötilan pastoissa käytettyjen metallien ominaisuuksia. /68/

Element	Atomic Number	Density (gm/cm ³)	Melting Temp. (°C)	Boiling Temp. (°C)	Heat Capacity (J/gm-°C)	Heat of Vapor. (J/gm)	Thermal Cond. (W/cm)
Bismuth	83	9.7	271	1610	0.12	501	0.079
Cadmium	48	8.6	321	767	0.23	886	0.97
Indium	49	7.3	156	2073	0.23	2016	0.82
Lead	82	11.35	327	1750	0.13	858	0.35
Tin	50	6-7	232	2603	0.23	2487	0.67

4.1.1. Tina

Tinalla on hyvä kyky kostuttaa ja levitä monenlaisten substraattien pinnoille. Tästä johtuen tinasta on tullut yksi juotosaineiden perusmetalli elektronisissa sovelluksissa. /69/

Puhdas tina sulaa 231,8 °C:ssa ja esiintyy kahdessa eri kide muodossa. Valkoisella β-tinalla on tetragonaalinen kiderakenne ja se on vakaa huoneen lämmössä. Harmaalla tinalla, α-tinalla on timantin kaltainen kiteinen rakenne ja se on termodynaamisesti vakaa alle 138 °C:ssa. Tinan muuntuminen β-tinasta α-tinaan, kidehilan muutos, tapahtuu, kun lämpötila laskee alle 138 °C. Muuntuminen johtaa volyymin kasvuun aiheuttaen halkeilua tinan rakenteessa. Tämä kidehilan muutos voi olla ongelma sovelluksissa, jotka toimivat lähellä tätä lämpötilaa. /69/

4.1.2. Vismutti

Vismutti on sulatetun lyijyn sivutuote ja sitä liitetään matalan lämpötilan juoteseoksiin. Vismutti on helposti muokattavissa oleva ja helposti hapettava. Puhdas vismutti sulaa 271.3 °C:ssa. Vismutti muodostaa tinan kanssa binäärisen euktektisen seoksen. /70/

Vismutin lisäys pastaan alentaa sen sulamispistettä. Korkean vismuttipitoisuuden haittapuolena on se, että vismutti hapettuu nopeasti, jos seos on alttiina ilmalle. Tämä taas vaatii fluksien käyttöä. /71/

4.1.3. Indium

Indium tarjoaa pitkälti samat ominaisuudet juotepastaan kuin vismutti. Indium on erittäin pehmeä ja taipuisa metalli perusmuodossaan. Puhdas indium sulaa 157 °C:ssa. /70/

Indiumia kutsutaan "metalli vitamiiniksi" tarkoittaen, että hyvin pienet määrät indiumia voivat tehdä suuria muutoksia seoksessa. Indium alentaa seoksen sulamispistettä, vahvistaa juotetta ja estää juotteen hajoamista. Indiumia sisältävät juotepastat ovat selkeästi kalliimpia muihin pastoihin verrattuna johtuen sen harvinaisuudesta. Indium muodostaa euktektisen seoksen tinan kanssa. /70, 72/

4.1.4. Kadmium

Kadmium on pehmeä, sinertävän valkoinen metalli, joka on helppo leikata veitsellä. Kadmiumia tuotetaan sivutuotteena. Hävittämisen sijaan teollisuus on pystynyt hyödyntämään sen ainutlaatuisia ominaisuuksia moniin tärkeisiin teollisuuden sovelluksiin. Kadmium sulaa 320.9 °C:ssa. /76, 77, 78/

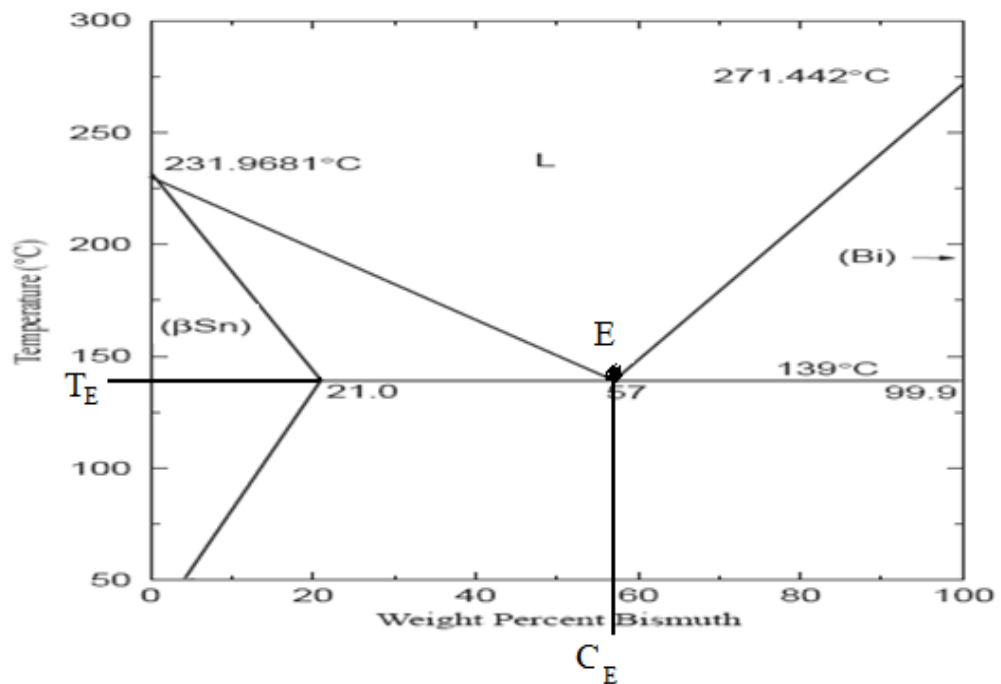
Kadmiumilla on erinomainen korroosionestokyky, erityisesti emäksisissä olosuhteissa. Lisäksi kadmiumilla on korkea sähkö- ja lämmönjohtokyky. Kadmiumilla on monessa suhteessa sinkin kanssa samat ominaisuudet. /73, 74, 75/

4.2. Eri pastojen vertailu

Sn–Bi ja In–Sn metalliseokset muodostavat perustan matalanlämpötilan pastoille. Pastojen saatavuus eri pitoisuuksissa takaa eri sulamispisteen sekä eri ominaisuudet. Sn–Bi ja In–Sn pastoihin voidaan lisätä vismuttia, kadmiumia tai lyijyä, jotta sulamispiste alentuu entisestään.

Tina–vismutti, Sn–Bi, juoteseoksen alhaisen sulamispisteen vuoksi juote soveltuu lämpötilaherkkien komponenttien ja substraattien juottamiseen. Tina–vismutti juotepasta on matalalämpöinen pasta, jonka sulamispiste on n. 139 °C, kun Sn pitoisuus on 42 %. Tina–vismutti pasta tarjoaa hyvän liitoslujuuden, matalan pintajännityksen, virumiskestävyyden, korkean leikkauslujuuden ja hyvän korroosioeston ominaisuuden. /76/

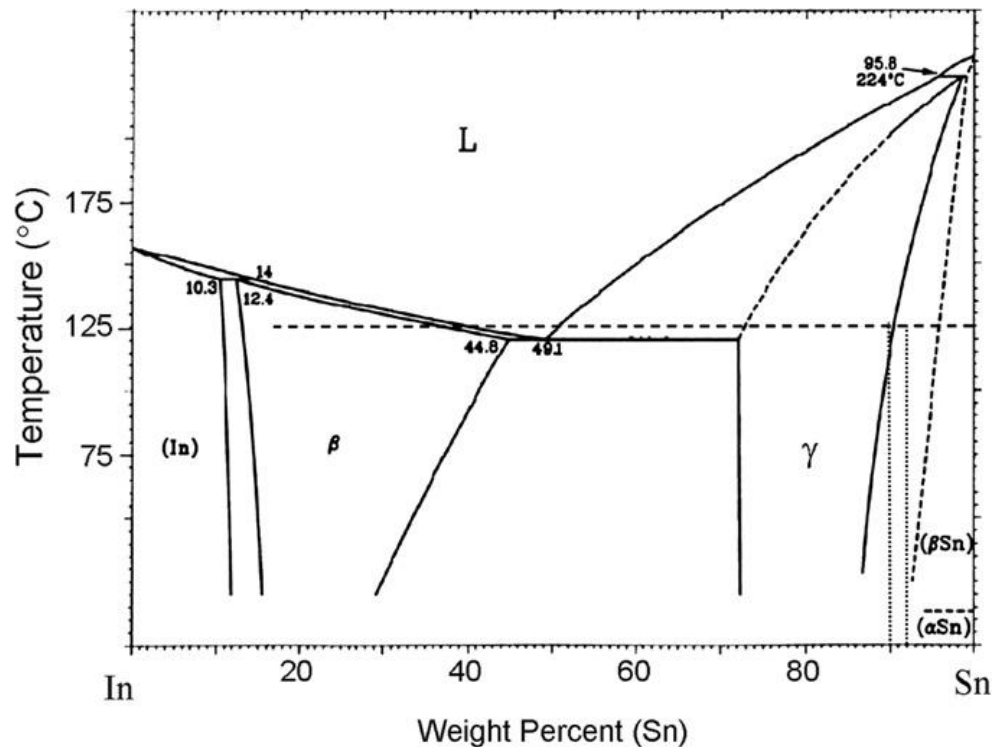
Kuvassa 4.3 on esitetty tina–vismutin faasidiagrammi. Eutektinen piste E kertoo näiden kahden aineen alhaisimman sulamispisteen, mitä kuvaa T_E , eli 139 °C. Piste C_E kuvaa eutektisen koostumuksen eli vismutin painoprosentin. /77/



Kuva 4.3. Tina – Vismutti faasidiagrammi. /78/

Indium–tina, In–Sn, juotepasta on matalalämpöinen yhdiste, jonka sulamispiste on 117 °C, kun indiumin pitoisuus on 49 %. Indium - tina seoksilla on huonot mekaaniset ominaisuudet ja erityisen huonot virumisominaisuudet. Kuitenkin seoksilla on erittäin hyvät kostutusominaisuudet ei metallisille pinnoille, kuten esim. keramiikalle. /79/

Kuvassa 4.4 on esitetty indium–tina faasidiagrammi. Indium–tina on metalliyhdiste, joka koostuu In pseudo–body–centered tetragonal β –faasista, jossa Sn–pitoisuus on 44,8 paino %:a ja Sn heksagonalisesta γ –faasista, jossa Sn pitoisuus on 77,6 paino %:a. /80/



Kuva 4.4. Indium–Tina faasidiagrammi. /81/

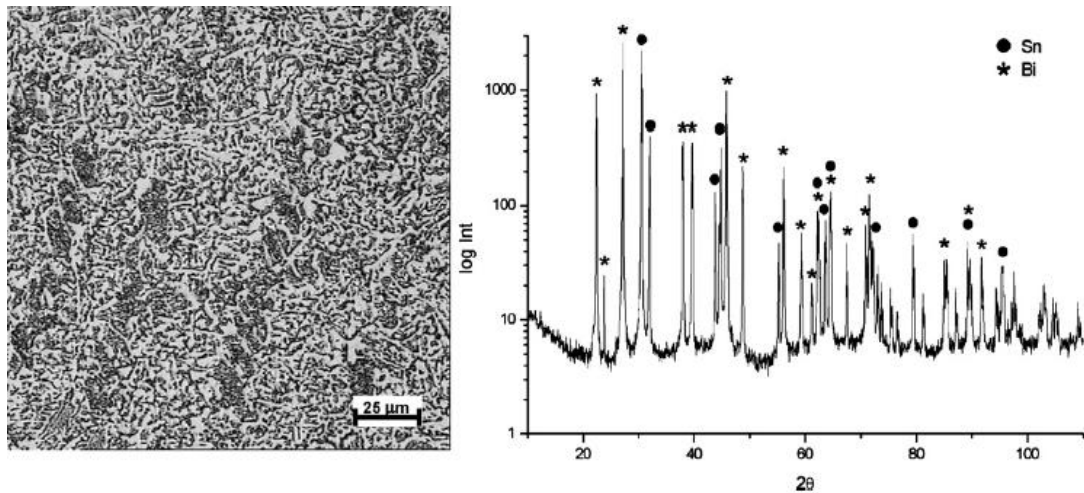
Matalalämpöisten pastojen mikrorakeetta ja termisiä ominaisuuksia tutkitaan tarkemmin viiden eri pastan näkökulmasta. Pastat, joiden ominaisuuksia tarkemmin selvitetään, ovat Bi58Sn42, In50Sn50, In50Sn50, In70Sn30, Sn53Bi37In10 ja Bi53Sn26Cd21.

4.3. Mikrorakenne

Tässä työssä käsitellään viiden eri pastan, Bi58Sn42, In50Sn50, In50Sn50, In70Sn30, Sn53Bi37In10 ja Bi53Sn26Cd21, mikrorakennetta. Mikrorakenteesta selvitetään mm. mikrorakenteen faasit ja eri pastakoostumuksien röntgendiffraktio profiilit.

4.3.1. Bi58Sn42 mikrorakenne

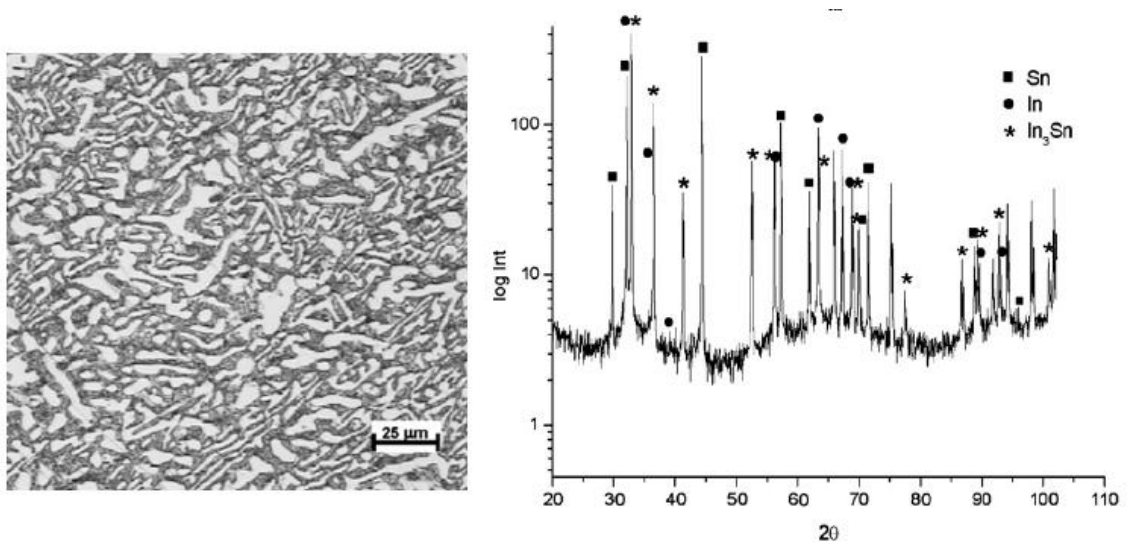
Kuvassa 4.5 on tina–vismutin mikrorakenne, joka koostumukseltaan on 58 % Bi ja 42 % Sn. Seoksen mikrorakenne on lähes homogeeninen. Mikrorakenteessa on kaksi faasia, Sn eutektinen matriisi ja Bi faasi. Vismutin presipitaatio tapahtuu jäädytyksen aikana. /82/



Kuva 4.5. Bi58Sn42 mikrorakenne ja röntgendiffraktioprofiili. /82/

4.3.2. In50Sn50 mikrorakenne

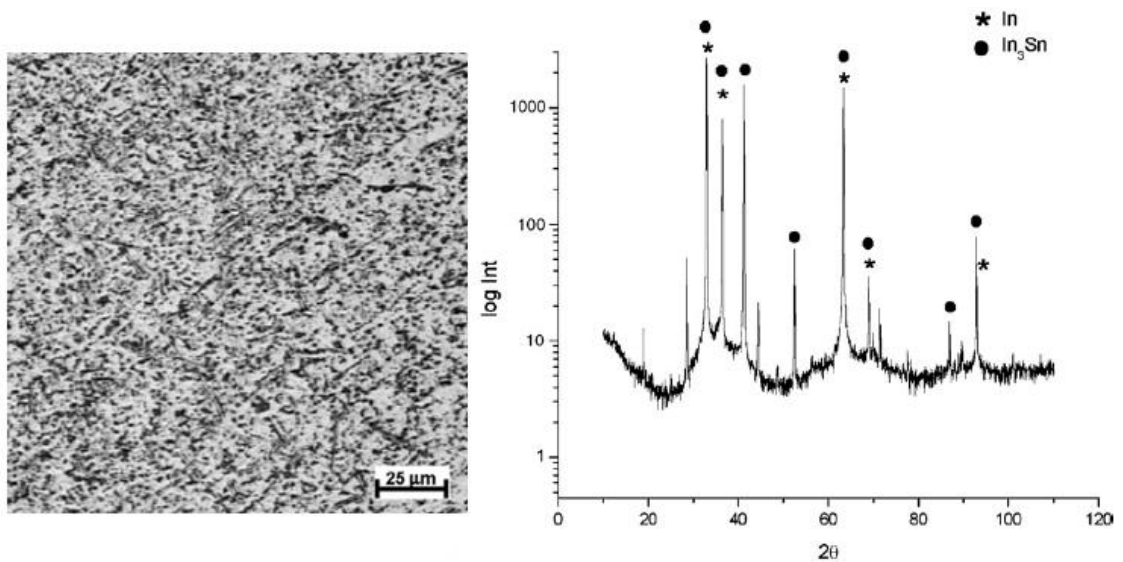
Kuvassa 4.6 on esitetty tina–indium mikrorakenne, joka on koostumukseltaan 50 % Sn ja 50 % In. Eutektisen seoksen mikrorakenne on osittain lamellaarinen ja osittain epäsäännöllinen. Eutektinen seos koostuu Sn-faasista, In-faasista ja In₃Sn-metallivälisestä yhdisteestä. /82/



Kuva 4.6. In₅₀Sn₅₀ mikrorakenne ja röntgendiffraktioprofiili. /82/

4.3.3. In₇₀Sn₃₀ mikrorakenne

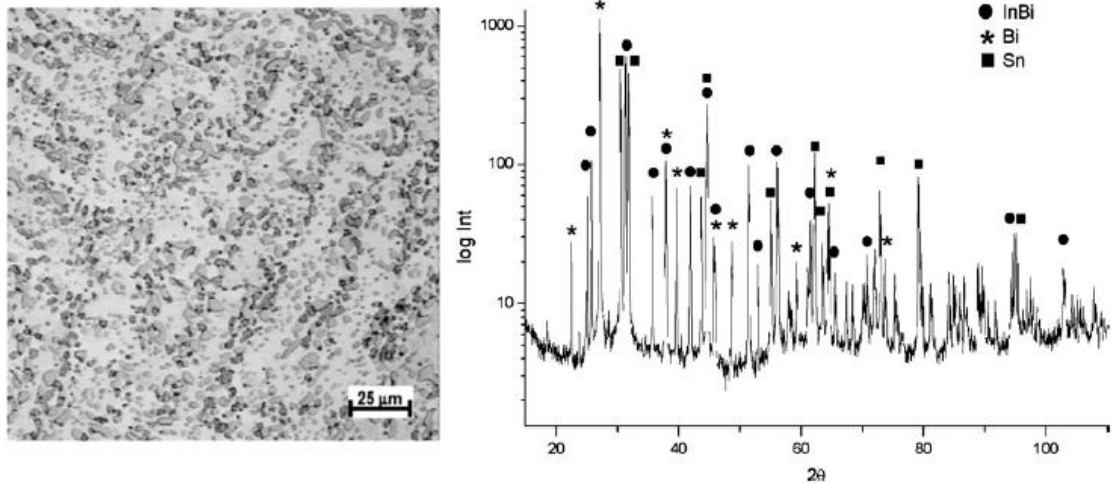
Kuvassa 4.7 on esitetty In₇₀Sn₃₀ pastan mikrorakenne, joka on koostumukseltaan 70 % In ja 30 % Sn. Mikrorakenne on homogeeninen ja koostuu kahdesta faasista, In faasista ja In₃Sn metalliyhdisteestä. /82/



Kuva 4.7. In₇₀Sn₃₀ mikrorakenne ja röntgendiffraktioprofiili. /82/

4.3.4. Sn53Bi37In10 mikrorakenne

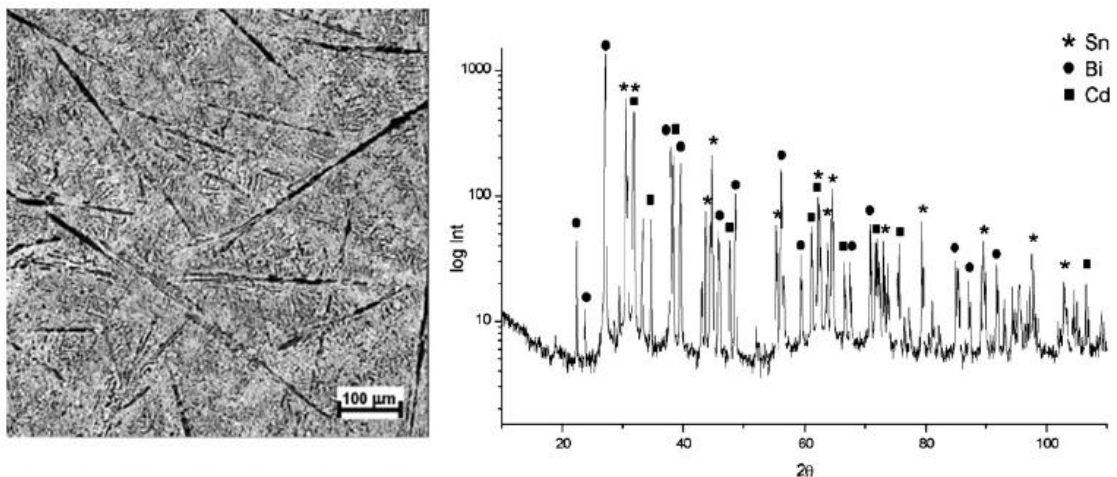
Kuvassa 4.8 on esitetty Bi53Sn37In10 pastan mikrorakenne, joka on koostumukseltaan 53% Bi, 37% Sn ja 10% In. Mikrorakenne koostuu kolmesta faasista, Sn, Bi ja BiSn, jotka ovat tasaisesti jakautuneet pastaan. /82/



Kuva 4.8. Bi53Sn37In10 mikrorakenne ja röntgendiffraktioprofiili. /82/

4.3.5. Bi53Sn26Cd21 mikrorakenne

Kuvassa 4.9. on esitetty Bi53Sn26Cd21 pastan mikrorakenne, joka on koostumukseltaan 53 % Bi, 26 % Sn ja 21 % Cd. Mikrorakenne koostuu kolmesta faasista, Sn, Bi ja Cd. Korkeammassa lämpötilassa Cd faasi on erkaantunut ensin johtuen sen korkeammasta sulamispisteestä. Kadmium on erotettavissa erikokoisina neulamaisina kuviona. /82/



Kuva 4.9. Bi53Sn26Cd21 mikrorakenne ja röntgendiffraktioprofiili. /82/

4.3.6. Mikrorakenteiden yhteenveto

Mikrorakenteiden analyysit osoittavat, että lähes kaikki juotokset ovat homogeenisia kahden tai kolmen faasin välillä. Tämä on hyvin tärkeää mekaanisten ja sähköisten ominaisuuksien kannalta juotosliitoksissa. Eri metalliyhdisteiden faaseja on havaittavissa Bi53Sn26Cd21 juotoksessa. Tämä voi vaikuttaa vahingollisesti pastan sähköiseen ominaisuuteen. /82/

4.4. Termiset ominaisuudet

Chria˜el'ová et. al ovat tutkineet viiden eri pastan termisiä ominaisuuksia DSC:n avulla. DSC:n (Differential scanning calorimetry) avulla pystytään määrittämään tarvittava lämpömäärän muutos lämpötilan funktiona. /82/

Taulukossa 4.3 on esitetty tina–vismutti, tina–indium, tina–vismutti–indium ja tina–vismutti–kadmium pastojen lämpötilamuutoksia tietyissä koostumuksissa. Onset lämpötila kuvaa lämpötilaa, jolloin yhdiste alkaa sulaa. End lämpötila kuvaa lämpötilaa, jolloin koko yhdiste on sulanut. Taulukosta on havaittavissa myös entalpia muunnos. /82/

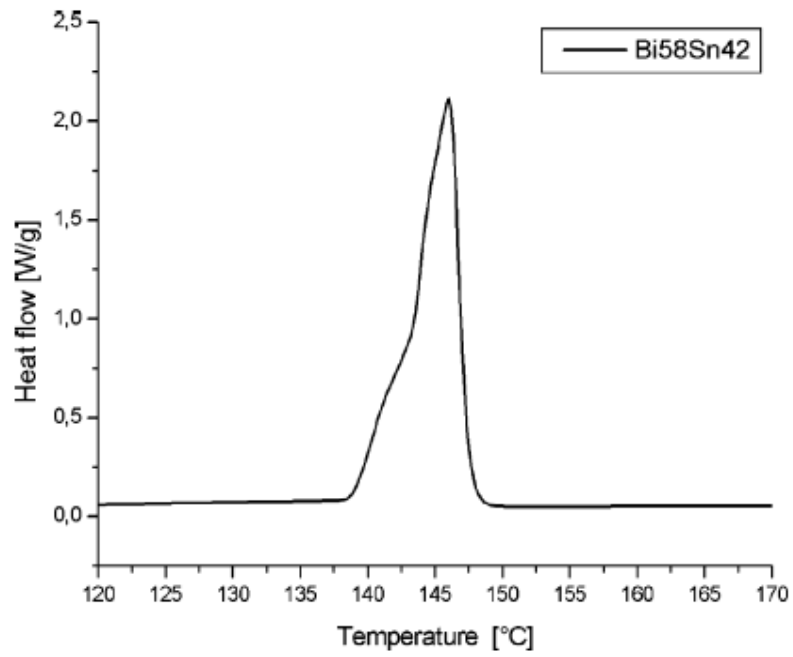
Taulukko 4.3. Eri pastojen termiset ominaisuudet. /82/

	Solder				
	Bi58Sn42	In50Sn50	In70Sn30	Sn53Bi37In10	Bi53Sn26Cd21
Temperature range of measurement (°C)	–15 to 300	–15 to 250	–15 to 250	–15 to 350	–15 to 350
Onset temperature (°C)	138.4	118.5	126.9	99.7	102.4
End temperature (°C)	145.4	122.0	130.9	135.2	109.0
Published melting temperature (°C)	139 [1]	117–125 [1,6]	126.0 [6]	100–123 ^a [1]	103.0 ^a [7]
Change of enthalpy (mJ)	1598.9	389.5	279.4	–	757.7
Transformation heat of reaction (J/g)	48.82	26.1	24.2	–	48.5

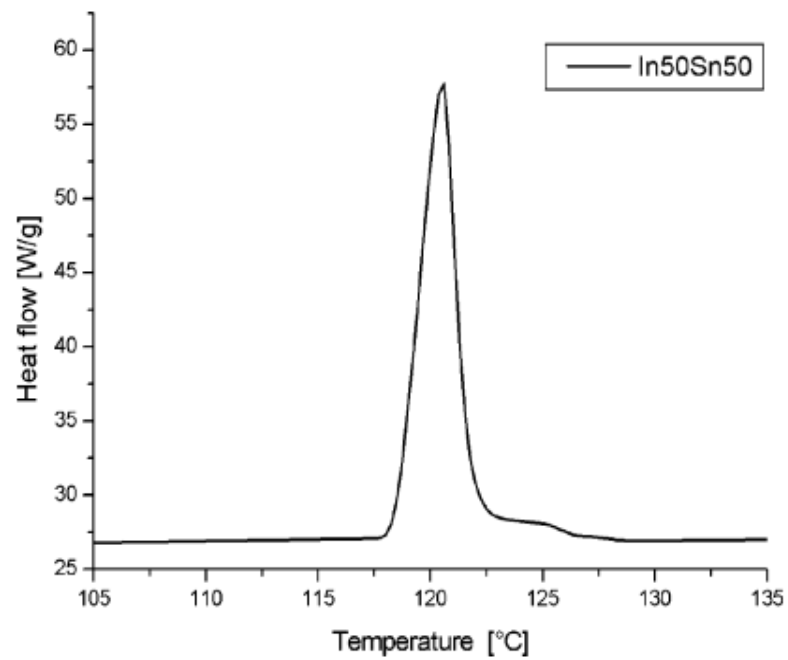
^aThere are more transformations regions.

Verrattaessa mittausten sulamislämpötilaa voidaan todeta, että koostumus In50Sn50 on paras, kuten kuvasta 4.11 on esitetty. Tällä pastalla on optimaalisin DSC käyrä viitaten kapeasti huipentuvaan sulamispisteeseen, joka on 118,5 C astetta. /82/

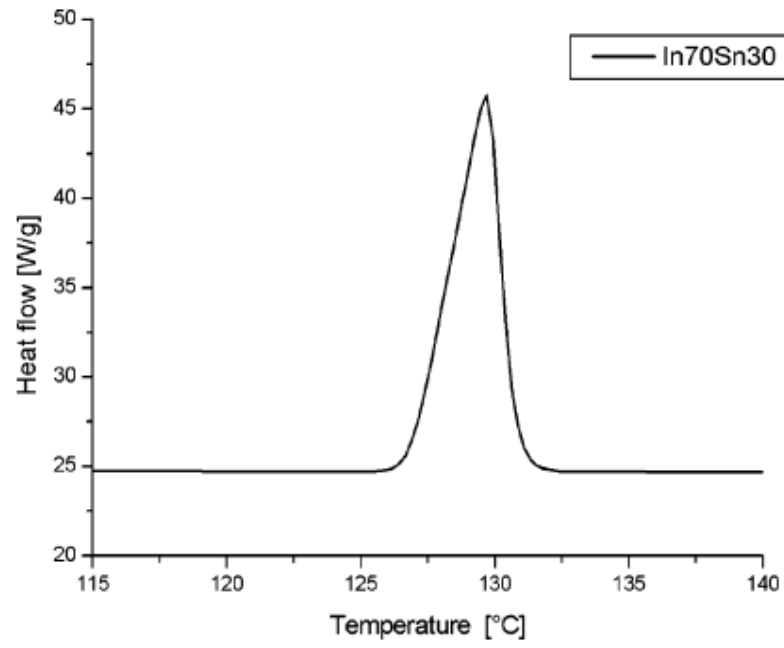
Myös juotepastojen Bi58Sn42 ja In70Sn30 DSC käyrät ovat melko optimaaliset kuten kuvissa 4.10 ja 4.12 on esitetty. Juotteella Bi53Sn26Cd21 kuvassa 4.14 on alhaisin sulamispiste, mutta juotteella on useita muodonmuutos alueita. /82/



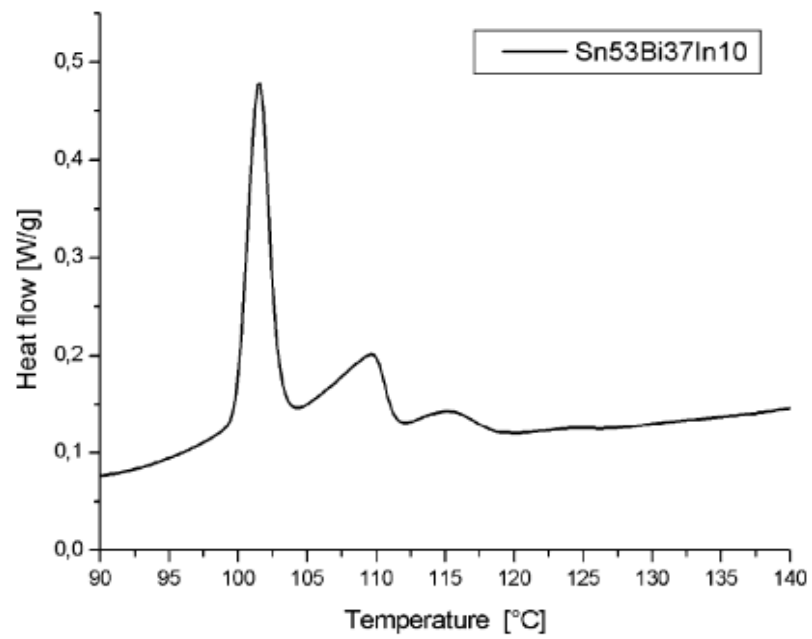
Kuva 4.10. Juoteseoksen Bi5Sn42 DSC käyrä. /82/



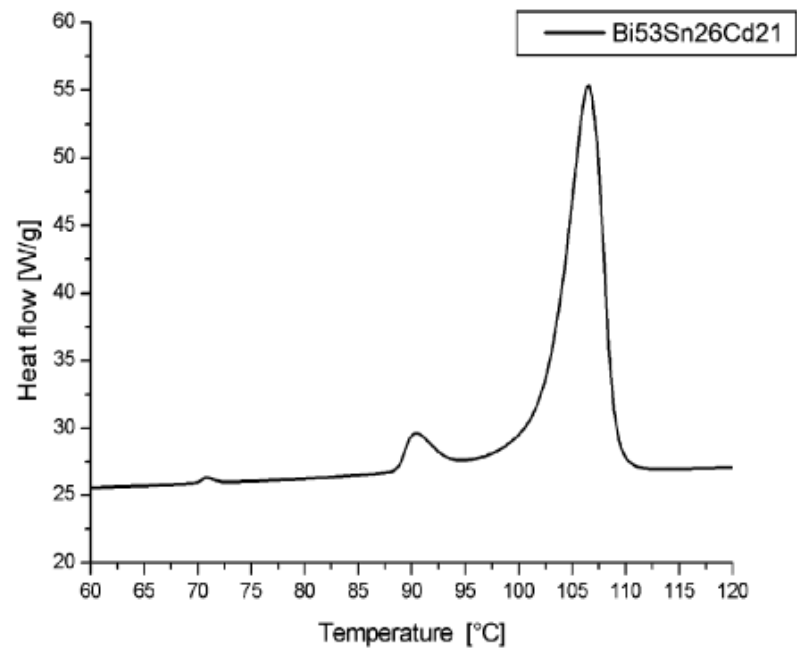
Kuva 4.11. Juoteseoksen In50Sn50 DSC käyrä. /82/



Kuva 4.12. Juoteseoksen In70Sn30 DSC käyrä. /82/



Kuva 4.13. Juoteseoksen Sn53Bi37In10 DSC käyrä. /82/



Kuva 4.14. Juoteseoksen Bi₅₃Sn₂₆Cd₂₁ DSC käyrä. /82/

5. ADHEESIO

Adheesio eli tarttuminen on kahden pinnan välinen sidosvoima, johon vaikuttaa liiman ja liimattavan väliset molekyylit. Liimaliitoksessa adheesio syntymistä ei tarkkaan tiedetä, mutta teoriat perustuvat adsorptioon atomien ja molekyylien välillä, diffuusioon, mekaaniseen lukittumiseen, sähköiseen vuorovaikutukseen tai sidoskerroksien heikkouteen. /83, 84/

Adheesio määräytyy materiaalin pintaenergioista. Pintaenergiat määrittävät kuinka hyvin materiaali on kostunut. Kostumisen on tapahduttava täydellisesti, jotta saadaan aikaan kestävä sidos. Pintaenergian mittaaminen tapahtuu kontaktikulmamittauksen θ avulla. Pintajännityksen ja kontaktikulman suhteen esittää Youngin yhtälö 5-1 ja kuva 5-1. /35/

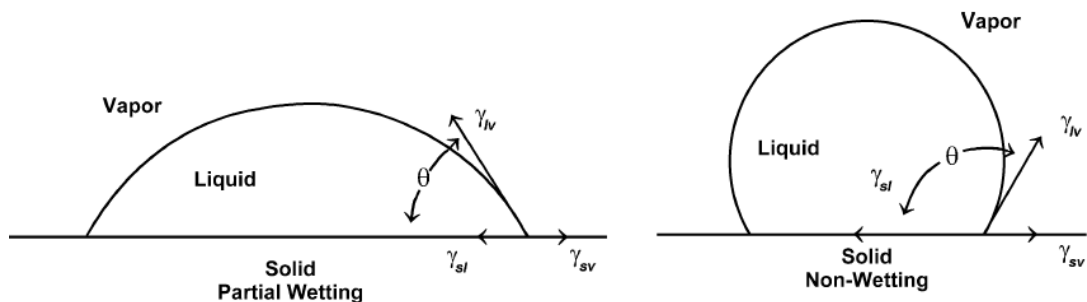
$$\gamma_{sv} - \gamma_{sl} = \gamma_{lv} \cos \theta \quad (5-1)$$

jossa:

γ_{sv} pintaenergia kiinteän ja kaasun rajapinnassa

γ_{sl} pintaenergia kiinteän ja nesteen rajapinnassa

γ_{lv} pintaenergia nesteen ja kaasun rajapinnassa



Kuva 5.1. Liimaliitoksen kostuminen ja kostutuskulma. /35/

Liiman kostutus perustuu käsitteeseen adheesio-työfunktio, joka saadaan termodynamiikan ensimmäisestä laista (5-2). /35/

$$W_a = \gamma_{sv} + \gamma_{lv} - \gamma_{sl} \quad (5-2)$$

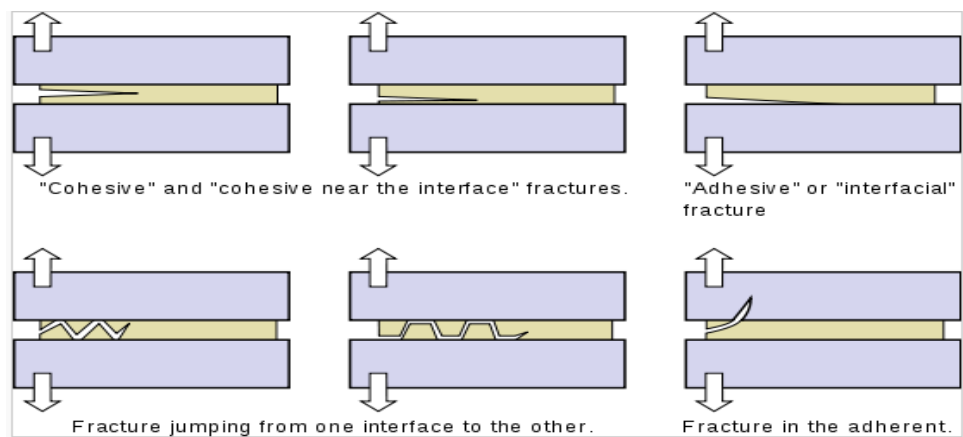
Yhdistämällä kaava (5-2) Youngin yhtälön kanssa saadaan Young–Dupreen yhtälö (5-3). /35/

$$W_a = \gamma_{lv}(1 + \cos \theta) \quad (5-3)$$

Leviämiskerroin W_a osoittaa, että hyvä kostutus ($\theta < 90^\circ$) on toteutunut, kun W_a on suurempi kuin 0. Hyvä kostutus edellyttää myös sellaisen nesteen käyttöä, jolla on suuri pintajännitys. Kun W_a vähenee θ kasvaa 90° :sta 180° :seen, jolloin tapahtuu osittainen kostuminen tai kostumista ei tapahdu ollenkaan. Tämän yhtälön perusteella edellytykset kostutukselle versus ei-kostutukselle ovat seuraavat. /35/

$\theta = 0^\circ$	Täydellinen kostuminen on tapahtunut
$0^\circ < \theta < 90^\circ$	Osittainen kostuminen
$90^\circ < \theta < 180^\circ$	Ei kostumista

On olemassa useita tekijöitä, jotka voivat edistää kahden liimautuneen pinnan murtumisista. Auringonvalo ja lämpö voivat heikentää liitosta, liuottimet voivat heikentyä tai liuottaa liiman tai liitokseen kohdistunut mekaaninen jännitys saattaa erottaa pintoja. Merkittäviä murtumatyyppejä ovat yhtenäinen murtuminen tai rajapintamurtuminen, kuten kuvassa 5.2 on esitetty. Yhtenäinen murtuma tapahtuu, jos halkeama etenee polymeerissä, josta liima on pääosin muodostunut. Halkeama voi levittäytyä keskelle kerrosta tai lähelle liitääntä. Rajapintamurtuminen tapahtuu, kun irtautumien tai repeytymien tapahtuu liiman ja substraatin välillä. Useimmissa tapauksissa rajapintamurtuminen etenee syklittäin. /84/



Kuva 5.2. Erilaisia murtumistekniikoita. /84/

6. MEKAANISET LIITOKSET

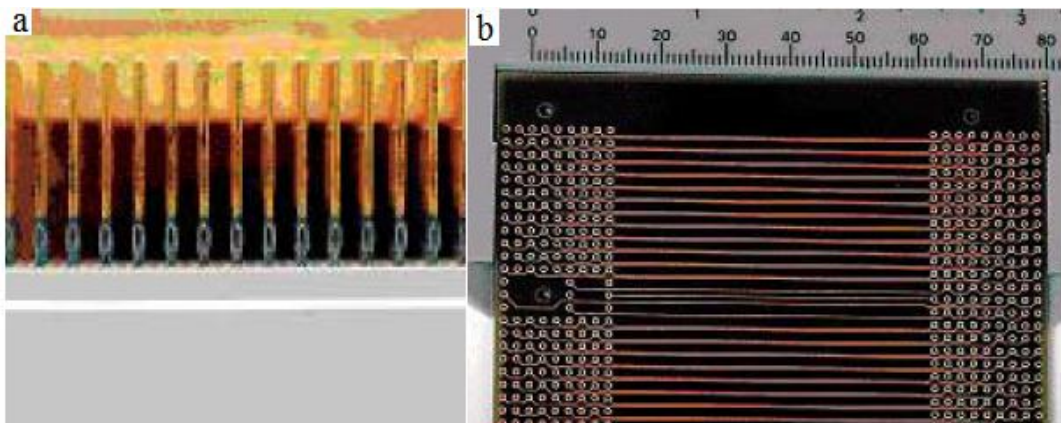
Elektroniikassa käytetään useita erilaisia mekaanisia liitoksia. Tässä työssä keskitytään press-fit liitoksen rakenteeseen, laitteistoon ja prosessoitavuuteen.

6.1. Press – fit liittimet

Press-fit, myös nimellä ”press-pin” ja ”compliant-pin” tunnettu liitin on ollut käytössä jo 1970 luvulta lähtien ja nämä liittimet tarjoavat todistettavasti luotettavan liitosmenetelmän. Kuvassa 6.1 esitetty press-fit liitin on herättänyt paljon kiinnostusta, koska ne ovat kehittyneet piirilevyjen kompleksisuuden ja monimutkaisuuden myötä. Press-fit liittimet takaavat korkean tiheyden ja pinnimäärä on tuhansissa yksittäisessä liittimessä. /70/

Press-fit liittimiä voidaan soveltaa PCA levyn molemmille puolille. Liitokset ovat helposti korjattavissa, vaikkakin kokoonpanoprosentti on aina lähes 100. Press-fit tekniikka on helpompi ja luotettavampi kuin perinteinen juottamisprosessi. Menetelmä ei myöskään altista painettavaa piirisovellusta (PCA) ylimääräisillä lämpö- tai kemikaaliprosessilla – johtaen näin parempaan luotettavuuteen. /70/

Press-fit menetelmä vaatii erittäin vähän energiaa ja vähän materiaalia sekä tarjoaa kemikaalittoman prosessin, jolloin menetelmä on ympäristöystävällinen. Press-fit prosessi on teoriassa ja käytännössä helppo, koska se rakentuu ylimitoitettujen liitospinnien painamiseen päällystettyjen PWB reikien läpi. Päällystetyt PWB reiät ovat erityisesti mitoitettu press-fit pinneille. Pinnien painuessa piirilevyyn oleviin reikiin ne leikkaantuvat osin ja ylimääräinen leikkaantunut materiaali on poistettava. Tuloksena on mekaanisesti vakaa sähköinen liitos. /70/

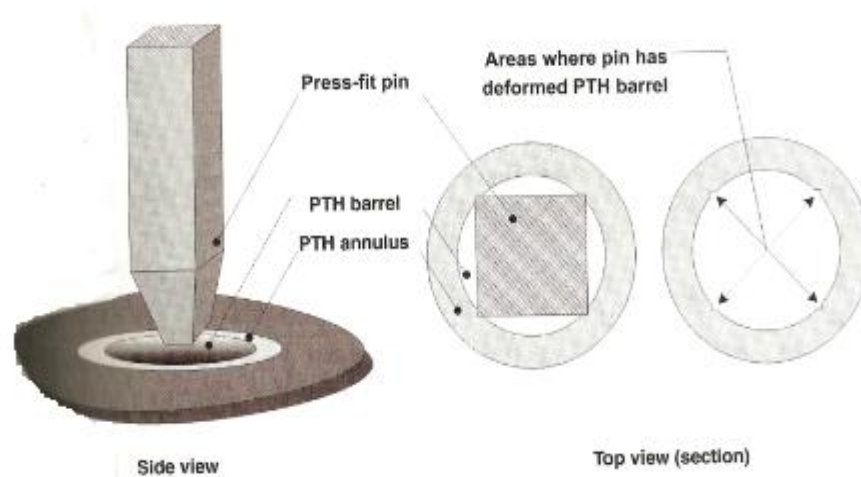


Kuva 6.1. Press-fit liitin a) neulamaiset pinnit b) itse piirilevy. /85/

6.2. Pinnien rakenne

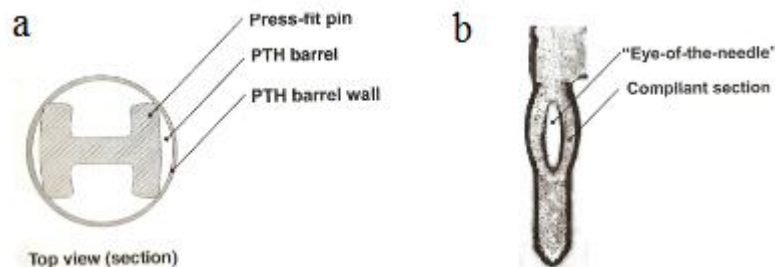
Press-fit liittipinnejä on erilaisia, joiden rakenne eroaa toisistaan. Liittimien rakenteellisia eroja on paljon, mutta tässä työssä keskitytään kolmeen keskeiseen eniten käytettyyn rakennemalliin. /70/

On olemassa liittimiä, joiden pää on neliön muotoinen (suorakulmainen poikkileikkaus). Pinnin pää on hieman kapeampi työntyen paremmin sisään, kuitenkin epämuodostaen PTH:n (Kuva 6.2). /70/



Kuva 6.2. Neliömuotoinen pinni. /70/

Toinen malli on neliö-pinni (square pin), jota usein nimitetään H poikkileikkaus pinniksi. Pinnien työntyessä sisään on niiden tarkoitus leikkautua. Kolmas ja yleisin kokopainossa käytetty pinni tunnetaan nimellä "Eye-Of-the-Needle" (EON), joka on esitetty kuvassa 5.3. Pinnin työntyessä sisään se taittaa itsensä pitkittäin kasaan painon vaikutuksesta. Päällystetyt reiät hiukan epämuodostuvat press-fit pinnin painuessa mekaanisesti sisään. /70/

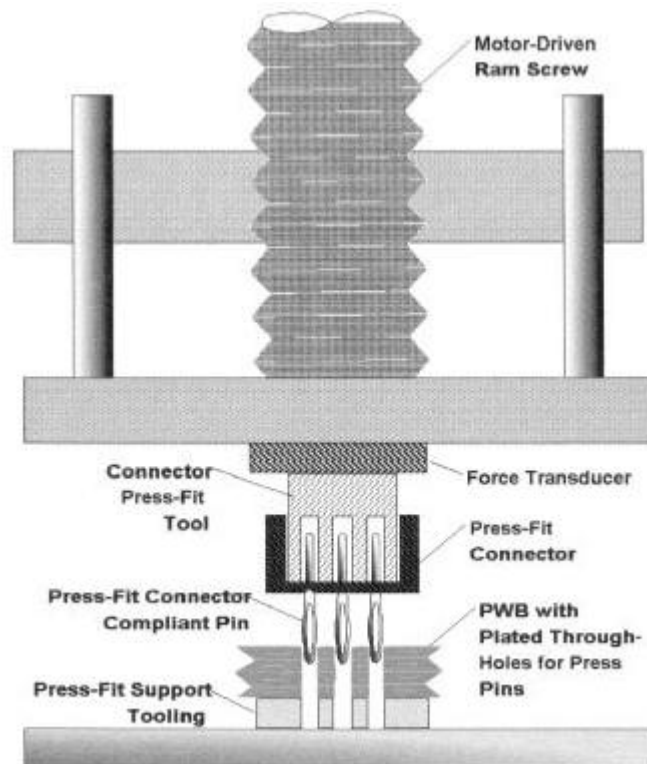


Kuva 6.3. Pinnien rakenne a) H-poikkileikkauspinni b) EON pinni. /70/

6.3. Laitteisto ja kokoonpano

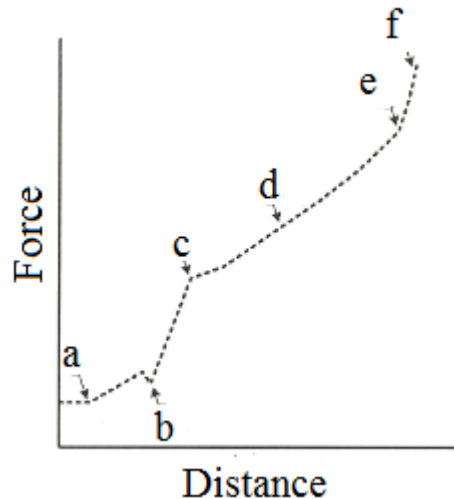
Press-fit sovelluksissa käytetään monenlaisia mekaanisia puristimia. Vipukäyttöinen karapainokone on yksinkertainen, mutta on riittävän käyttökelpoinen harva liitovälin liittimille. Kehittyneempi malli on paineilmakäyttöinen kone. Vaikka sitä on helpompi käyttää kuin vipukäyttöistä karapainokonetta, se ei juurikaan helpota prosessin ohjausta tai kokoonpanon toistettavuutta. Pneumaattinen / hydraulinen yhdistelmäpainokone tarjoaa valvottavissa olevan prosessin. Voiman ja nopeuden tarkkailu ja seuranta sekä datan säilyminen helpottavat prosessin kontrolloitavuutta. /70/

Kehittynein puristin on sähkömekaaninen puristin, joka on esitetty kuvassa 6.4. Puristimen toiminta perustuu motoriseen hydraulimäntään, jossa on nopeuden säädeltävyys ja z-akselinen koodaus. /70/



Kuva 6.4. Press-fit sovelluksissa käytettävä sähkömekaaninen puristin. /70/

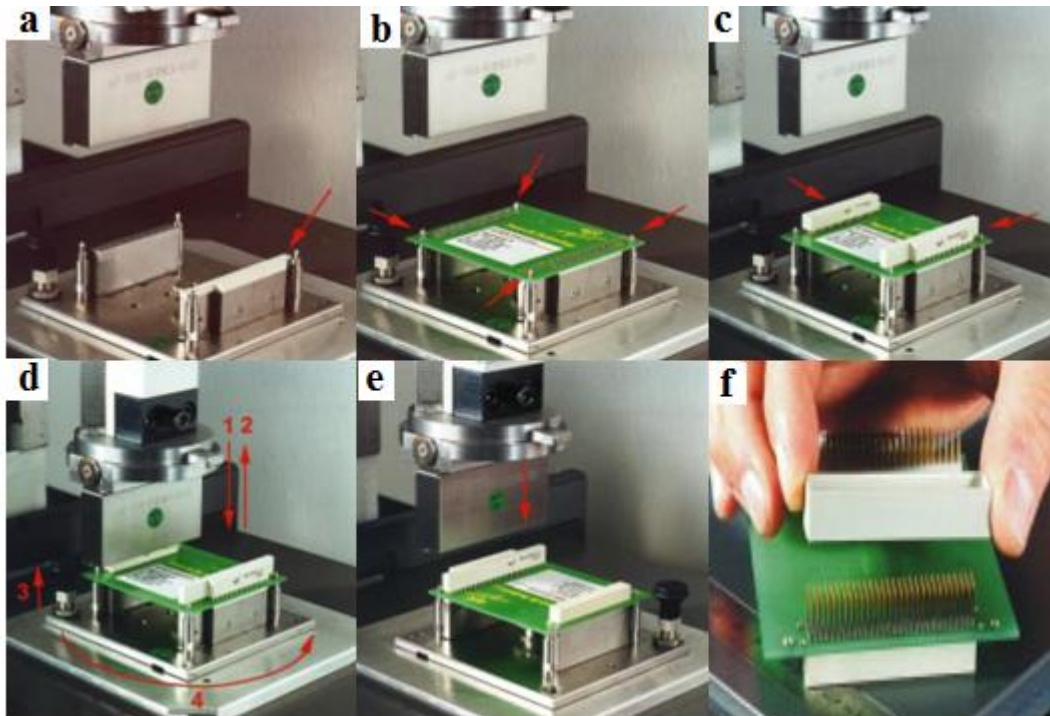
Painotyökalu ja tukilevy on valmistettu sopimaan yhteen liittimen ja PCA layoutin kanssa. PCA asetetaan press-fit koneen tukilevyjen päälle ja käyttäjä asettaa käsin liittimen tätä varten tarkoitettuihin päällystettyihin reikiin (PTH). Hydraulimäntä on asetettu liittimen kanssa riviin painamista varten. Press-fit liittimien painautuessa PWB päällystettyihin reikiin syklin aikana on tärkeää kontrolloida tarvittava voima versus pinnien pystysuora etäisyys kunkin liitinpinnan kohdalla, kuten kuvassa 6.5 on esitetty. Kuvassa 6.6 on esitetty ja selitetty PC/104 liitännän vaiheet. /70/



Kuva 6.5. Press-fit painosovelluksessa tarvittava voima liikematkan funktiona. a) voimaa sovelletaan liittimeen b) yhteensopiva pinni romahtaa c) romahdus on valmis d) pinni liikuu pitkin PTH seinää, aiheuttaen kitkaa e) liitin on paikallaan f) painamisen jatkaminen ei vaikuta etäisyyteen. /70/

Painoprosessin edetessä liittimien päät pakotetaan päällystettyjen reikien läpi, jolloin pinnan myötäilevä osa leikkaantuu. Jatkuva vastus on havaittavissa johtuen luhistuneiden pinnien liukuessa holkkien seinää pitkin aiheuttaen kitkaa. Käyrän toinen havaittavissa oleva käännekohta tapahtuu, kun liitin asettuu täysin paikalleen. Painojakson loputtua lisävoima vaikuttaa vähän tai ei ollenkaan etäisyydessä. Kuitenkin syklin jatkuessa seurauksena on vahingoittunut PWB. /70/

Parhaan painotuloksen mahdollistaa menetelmä, jossa on reaaliaikainen mittaus ja valvonta painon aikana. On olemassa neljä painotapaa, joista kolme hyödyntävät voima-antureita, etäisyys tunnistinta ja reaaliaikaista valvontaa. /70/

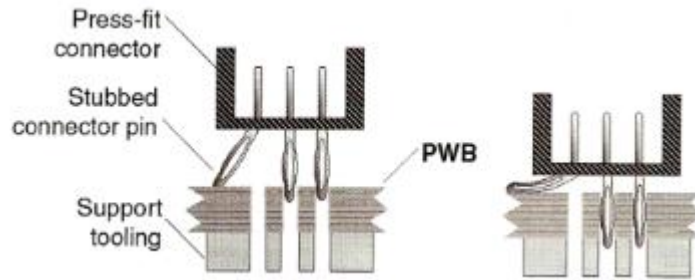


Kuva 6.6. PC/104 prosessivaiheet. a) astetaan tukilevyt b) astetaan piirilevy paikalleen c) asetetaan liitin paikalleen d) asetetaan toinen liitin e) painetaan liitin kiinni f) painettu press – fit liitin. /86/

6.4. Press – fit uudelleenkorjattavuus

Press–fit on tuottoisa ja korkeatasoinen prosessi. Press–fit liitin voidaan joutua korjaamaan tai poistamaan huonon prosessoinen tai press–fit liittimen takia. Painosyklin seurauksena press–fit liittimen myötäilevät pinnit voivat vääntyä, kuten kuvassa 6.7 on esitetty, ja niitä ei voida uudelleen käyttää. Kuitenkin useimmat press–fit liittimet ovat suunniteltu uudelleenkorjattaviksi. /70/

Pinnien korjaustyökalut vaihtelevat suuresti. Joissakin tapauksissa on suunniteltu poistaa tai korvata vain yksi pinni. Toisissa tapauksissa taas työkalu saattaa olla suunniteltu irrottamaan / poistamaan koko liitin piirilevytä, jotkut koneet on taas suunniteltu poistamaan liittimet sen rungosta. Tällöin yksittäiset pinnit irrotetaan yksitellen pihdeillä. /70/



Kuva 6.7. Press-fit prosessissa epämuodostunut pinni. /70/

6.5. Press – fit vs. juotosprosessi

Press-fit liittimet takaavat useita etuja verrattuna juotosprosessiin. Kun press-fit prosessi suoritetaan huoneen lämpötilassa, eivät komponentit kärsi lämpöjännityksestä. Press-fit liittimien terminen kestävyys on erinomainen, eikä näin ollen ole vaaraa esim. juotesilloille. /87/

Press-fit liittimien toinen etu on niiden mahdollisuus saada aikaan sähköinen kontakti ilman muita osia kuten esim. ruuveja. Myös press-fit liittimien uudelleen korjaus on erittäin helppo prosessi. Haittapuolena voidaan pitää ylimääräisen materiaalin jäämistä esim. reikään vähentäen kontaktin luotettavuutta pinnien työntyessä sisään. Alla on listattu press-fit liittimien etuja verrattuna prosessijuottamiseen. /87, 88/

- Ei termistä kuormitusta piirilevyyn, koska on juototon prosessi
- Yksinkertainen, nopea, tehokas, luotettava ja nopea asennus
- Ei oikosulkuja juotesiltojen takia
- Ei kylmäjuotosta
- Ei lämpöjännitystä
- Erittäin hyvä sähköinen ominaisuus
- Suuri mekaaninen vakaus
- Voidaan korjata ilman ongelmia, voidaan poistaa ja uudelleen vaihtaa kolme kertaa
- Rahaa ja aikaa säästävä prosessi
- Ympäristöystävällinen, press-fit komponentteja ei tarvitse pestä, helppo kierrättää /87, 88, 89/

7. YHTEENVETO

Tässä työssä selvitettiin komponenttien liittämistä painettavaan elektroniikkaan. Työn lähtökohtana oli eri painomenetelmät kuten gravure, flexo, silkki, offset ja muste. Komponenttien liittämistä pohdittiin sähköisesti johtavien liimojen, matalanlämpötilan pastojen ja press-fit liittimien kautta.

Sähköisesti johtavat liimat tarjoavat mielenkiintoisia etuja perinteiseen juottamiseen nähden. Nämä ovat esimerkiksi tiheämpi pichi ja matalammat prosessilämpötilat. Sähköisesti johtavat liimat sulavatkin 80 °–140 °C asteessa, kun juotteilla se on 220–240 astetta. Sähköisesti johtavat liimat voidaan jakaa anisotrooppisesti johtaviin liimoihin ja isotrooppisesti johtaviin liimoihin. Anisotrooppisesti johtavat liimat johtavat z-suuntaisesti kun isotrooppisesti liimat johtavat xzy-suuntaisesti. Sähköisesti johtavat liimat ovat komposiittimateriaaleja, joihin on sekoitettu sähköä johtavia metallipartikkeleita. Johtavien metallipartikkeleiden määrä vaikuttaa olennaisesti sähköjohtavuuteen: mitä enemmän metallipartikkeleita on läsnä, sitä heikompi on polymeerin mekaaniset ominaisuudet. Perkolaatiokynnys eli kynnys, jolloin yhdiste alkaa johtaa tulisikin saavuttaa mahdollisimman alhaisella metallipartikkeleiden lisäyksellä. Perkolaatiokynnykseen vaikuttaa siis täyteaineen määrä, mutta myös käytettyjen metallipartikkeleiden koko ja muoto. Perkolaatiokynnyksen saavuttamisen jälkeen kasvaa polymeerikomposiitin sähköjohtavuus erittäin nopeasti.

Matalanlämpötilan pastojen käyttö takaa matalammat prosessilämpötilat. Matalanlämpötilan pastat sulavat alle 183 °C:ssa. Matalanlämpötilan pastat koostuvat pääasiassa tinasta, vismutista, indiumista ja kadmiumista. Tässä työssä keskityttiin viiden eri matalanlämpötilan pastan mikrorakenteeseen ja termisiin ominaisuuksiin. Mikrorakenteiden tutkinnassa kävi ilmi, että lähes kaikki pastat olivat homogeenisiä kahden tai kolmen faasin välillä. Tämä takaa liitokselle hyvät mekaaniset ja sähköiset ominaisuudet. Ainoastaan pastassa Bi53Sn26Cd21 oli havaittavissa metalliyhdisteiden faaseja, jotka voivat vaikuttaa heikentävästi pastan sähköisiin ominaisuuksiin. Juotepastalla In50Sn50 pastalla oli kaikkein optimaalisin DSC käyrä viitaten sen kapean huipentuvaan sulamispisteeseen, joka on 118,5 C astetta. Juotteella Bi53Sn26Cd21 oli alhaisin sulamispiste, mutta juotteella oli havaittavissa useita muodonmuutos alueita.

Press-fit liittimet tunnetaan myös nimellä ”press-pin” ja ”compliant-pin”. Press-fit liittimet ovat olleet käytössä jo 1970-luvulta ja ne tarjoavat erittäin luotettavan liitosmenetelmän. Press-fit teknologia on erittäin ympäristöystävällinen prosessi, sillä se vaatii vähän energiaa ja materiaalia. Tekniikka on helpompi ja luotettavampi kuin perinteinen juottamisprosessi ja tekniikka ei myöskään altista painettavaa piirisovellusta (PCA) ylimääräisillä lämpö- tai kemikaaliprosessilla. Tekniikka perustuu ylimitoitettujen pinnien työntämiseen piirilevyn läpi. Press-fit liittimet voidaan asettaa piirilevyn molemmille puolille. Press-fit pinnit ovat hieman ylimitoitettuja, sillä niiden työntyessä sisään ne leikkaantuvat. Muodostunut ylimääräinen materiaali on poistettava. Paineen sovelluksesta liitin saadaan paikalleen ja mekaanisesti sähköinen liitos on syntynyt. Press-fit liittimen uudelleenkorjaus perustuu joko koko liittimen poistoon tai vai yksittäisen pinnan poistoon.

LÄHTEET

1. Hermia Oy, Painettava elektroniikka. [WWW]. [viitattu 29.07.2009]. Saatavissa: http://www.hermia.fi/tikka/osaprojektit/elektroniikan_tuotanto-ja_laser/painettava_elektroniikka/
2. Leino, R. Painettu äly tulee paperiin. Tekniikka & Talous [verkkolehti]. Maaliskuu 2007. [viitattu 03.11.2009]. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/metsa/article45895.ece>
3. Jokiharju, T. Mustesuihkuprosessin optimointi painettavan elektroniikan valmistuksessa. Diplomityö. Tampere 2007. Tampereen Teknillinen Yliopisto. 84 s.
4. Aikio, J. Tulevaisuuden elektroniikka on muotoiltavaa ja joustavaa. Helsinki 2008. VTT, s. 12.
5. Peräkamppi, A. Printed electronics – implementation, integration and applicability products. Master of Science Thesis. Tampere University of Technology. 71 s.
6. Computer Techniques, Inc, Graphic Design terms [WWW]. [viitattu 27.07.2009]. Saatavissa: http://www.chipsnet.com/service/CTI_gd_terms.asp
7. Laine – Ma, T. Rakennealustat. 2008. Tampereen Teknillinen Yliopisto, Porin yksikkö. Luentomoniste.
8. Printed Electronics World. Printed electronics: Flexography (Glossary) [WWW]. [viitattu 27.07.2009]. Saatavissa: http://www.printedelectronicsworld.com/glossary/flexography_76.asp
9. Salminen, K. Aamun lehti nojaa automaatioon. Tekniikka & Talous [verkkolehti]. Helmikuu 2008. [viitattu 27.07.2009]. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/ict/automaatio/article59762.ece>

10. Torikka, M. Offsetin etuja ovat nopeus ja laatu. Tekniikka & Talous [verkkolehti]. Huhtikuu 2006. [viitattu 27.07.2009].
Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/incoming/article28905.ece>
11. Karinen, J. Fundamentals of Packaging Technology. 2001. Satakunta Polytechnic, Department of Industrial Engineering and Management. Luentomoniste. Saatavissa:
<http://www.tp.spt.fi/~jkarinen/Pakkaustekniikka/Fundamentals%20of%20packaging%20technology%20Kappale%2004.pdf>
12. Creative Unlimited. Screen printing; Tips & techniques. [WWW]. [viitattu 21.11.2009]. Saatavissa:
<http://www.creativityunlimited.com.au/print-making.html>
13. OKI Systems Ltd. Thermal Bubble Printing [WWW]. [viitattu 27.07.2009].
Saatavissa: <http://www.askoki.co.uk/encyclo/printertech/bubble.asp>
14. OKI Systems Ltd. OKI's Guide to Piezo Electric Printing [WWW]. [viitattu 27.07.2009]. Saatavissa: <http://www.askoki.co.uk/encyclo/printertech/piezo.asp>
15. Wapedia. Printed electronics [WWW]. [viitattu 03.11.2009]. Saatavissa:
http://wapedia.mobi/en/Printed_electronics#1
16. Kopola, H., et al. Printed Intelligence – Sensors and Smart Packaging. Helsinki 2007. VTT. 30 s.
17. IdTechEx Ltd. Printed, Organic & Flexible Electronics Forecasts, Players & Opportunities 2009 – 2029 [WWW]. [viitattu 16.09.2009]. Saatavissa:
<http://www.idtechex.com/>
18. Zervos, H. Shedding Light on Thin – Film Solar Cell Efficiency Research. Power Engineering [verkkolehti]. [viitattu 20.10.2009]. Saatavissa:
http://pepei.pennnet.com/Articles/Article_Display.cfm?ARTICLE_ID=328999&p=6
19. End User Requirements, market Analysis, Technical Progress and Routes to Market. San Jose, CA, USA, December 1 – 4, 2009. IDTechEx.com.
20. Nanowerk, LLC. Market for organic and printed electronics expected to grow rapidly [verkkolehti]. Kesäkuu 2009. [viitattu 16.09.2009]. Saatavissa:
<http://www.nanowerk.com/news/newsid=11383.php>

21. RFID Journal. Learn How the Latest RFID Systems Are Helping Health – Care Providers Improve Patient Care While Cutting Costs [WWW]. [viitattu 30.10.2009].
Saatavissa: <http://www.rfidjournalevents.com/healthcare/aboutus.php>
22. Wisteq Oy. RFID – sovellukset [WWW]. [viitattu 30.10.2009]. Saatavissa:
http://www.wisteq.com/applications_fi.html
23. Digitoday. Älykkäät ja hulluimmat rfid – sovellukset [verkkolehti]. Joulukuu 2006. [viitattu 03.10.2009]. Saatavissa:
<http://www.digitoday.fi/data/2006/12/17/lykkaimmat-ja-hulluimmat-rfid-sovellukset/200623656/66>
24. Wikipedia. Organic light – emitting diode [WWW]. [viitattu 20.10.2009].
Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Organic_light-emitting_diode
25. OLED – Info.com. What is an OLED TV [WWW]. [viitattu 20.10.2009].
Saatavissa: <http://www.oled-info.com/oled-tv>
26. Savastano, D. Enfucell Brings Expertise to the Printed Battery Market. Printed Electronics Now [verkkolehti]. Syyskuu 2009. [viitattu 20.10.2009]. Saatavissa:
<http://www.printedelectronicsnow.com/articles/2009/09/enfucell-brings-expertise-to-the-printed-battery-m>
27. Salisbury, A. HP and ASU Show off Flexible Electronic Displays. Maximum Pc [verkkolehti]. Elokuu 2008. [viitattu 20.10.2009]. Saatavissa:
http://www.maximumpc.com/article/news/hp_and_asu_show_flexible_electronic_displays
28. A. M. Lyons. Electronic Packing: Conductive Adhesives. Encyclopedia of Materials: Science and technology, 2008. s. 2654 – 2659.
29. Xu, Shuangyan Xu. Evaluating Thermal and Mechanical Properties of Electrically Conductive Adhesives for Electronic Applications. Dissertation. Blacksburg, Virginia 2001. Virginia Polytechnic Institute and State University. 211 s.
30. The Nordic Electronics Packaging guideline. Chapter C: Polymer Bonding, Basic facts about electrically conductive adhesives. [WWW] [viitattu 16.09.2009]. Saatavissa:
<http://extra.ivf.se/ngl/C-PolymerBonding/ChapterC2.htm#C2.2>

31. Yi, Li. High Performance Electrically Conductive Adhesives (ECAS) for Leadfree Interconnections. Thesis. Georgia Institute of Technology, 2007. 217 s.
32. Irfan Mir, D. Kumar. Recent advances in isotropic conductive adhesives for electronics packing applications. International Journal of Adhesion & Adhesives 28(2008)7, s. 362 – 371.
33. Wikipedia. Polymeeri [WWW]. [viitattu 03.11.2009]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Polymeeri>
34. Vuoristo, T. Polymeerit. 2005. Tampereen Teknillinen Yliopisto, Materiaaliopin laitos. Luentomoniste. Saatavissa: http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_1.php
35. Licari, James J. & Swanson, Dale W. Adhesives Technology for Electronic Applications – Materials, Processes, Reliability. William Andrew publishing, 2005. 460 s.
36. Vuoristo, T. Kuitulujitetut komposiitit. 2005. Tampereen Teknillinen Yliopisto, Materiaaliopin laitos. Luentomoniste. Saatavissa: http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_1.php
37. Zschech, E., Wheland, C. & Mikolajick, T. Materials for Information Technology. Springer London 2005. 338 s.
38. Dunn, Dave J. Adhesives and Sealants: Technology, Applications and Markets. Smithers Rapra, 2003. 176 s.
39. Viitasalo, S. Johtavat polymeerit ja niiden sovellukset. Diplomityö. Pori 2009. Tampereen Teknillinen Yliopisto. 82 s.
40. Karttunen, M., Österlund, R., Rounioja, V., Avellan, P., Jussila, M. & Ruuskanen, P. Kiinteän tilan prosessointi ja metalli-, polymeeri-, keraami-yhdistelmämaterialit. Espoo 2000, VTT Julkaisu 845. 85 s + liitt. 12 s.
41. Rabilloud, G. High – Performance Polymers: Vol. 1 Conductive Adhesives (Institut Francais Du Petrole publications). Editions Technip, 2007. 360 s.
42. The Nordic Electronics Packaging guideline. Chapter C: Polymer Bonding, Basic facts about electrically conductive adhesives. [WWW]. [viitattu 16.09.2009]. Saatavissa: <http://extra.ivf.se/ngl/C-PolymerBonding/ChapterC2.htm#C2.2>

43. Dziedric, A. & Snarskii, A. Percolation Theory and its Applications in Materials Science and Microelectronics (Part I – Theoretical description). Informacije MIDEM 31 (2001)1, s. 1 – 9.
44. Hunt, G.A. Percolation theory for flow in porous media. 2005. Springer. 203 s.
45. Kulshreshtha, A.K. & Vasile, C. Handbook of Polymer Blends, Volumes 1 - 2. 2005. Springer.
46. Pritchard, G. Plastics Additives: An A – Z Reference (Polymer Science and Technology Series). Springer, 1997. s. 656.
47. Pionteck, J. & Wypych, G. Handbook of Antistatics. ChemTec Publishing, 2007. 359 s.
48. Karttunen, M., Ruuskanen, P., Pitkänen, V. & Albers, W.M. Electrically conductive Metal Polymer Nanocomposites for Electronics Applications. Journal of ELECTRONIC MATERIALS 37(2008)7.
49. Li, Yi., Kyoung – Sik, M. & Wong, C P. Adherence of Self – Assembled Monolayers on Gold and Their Effects for high – Performance Anisotropic conductive Adhesives. Journal of Electronic Materials 18(2005)2, s. 33 – 39.
50. Kokko, K. Nanorakenteiden fysiikka. 2008. Turun Yliopisto, Fysiikan laitos. Luentomateriaali. Saatavissa: <http://users.utu.fi/kokko/wfiles/lec/nano/nano.pdf>
51. Yi, Li. & Wong, C.P. High performance anisotropic conductive adhesives for lead – free interconnections. Soldering & Surface mount Technology 18(2006)2.
52. Repola, H. Kiekkotason pakkaaminen. Seminaarityö. Tampereen Teknillinen Yliopisto, Automaatiotekniikan koulutusohjelma. 17 s.
53. Schwartz, M. Smart Materials. Taylor & Francis, 2008. 554 p.
54. Daoqiang, L. & Wong, C.P. Electrically conductive adhesives for electronic applications. Saatavissa: Elsevier.
55. Puttlitz, K. & Stalter, K. Handbook of Lead – Free Solder Technology for Microelectronic Assemblies. 1th ed. CRC Publications, 2004. 1026 s.

56. ZIPic Oy. Anisotropic conductive adhesives [WWW]. [viitattu 30.09.2009]. Saatavissa: http://www.zipic.fi/Flipchip/flipchip_review4.html
57. Gilleo, K. Flip Chip Assembly with Conductive Adhesives [WWW]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa: www.et-trends.com/files/IMAPS-2000_FlipChip.ppt
58. Tomlins, P E. & Levoguer, C. An Introduction to Electrically Conductive Adhesives and their Current Applications. Teddington, Middlesex 1999. Centre for Materials Measurement and Technology. s. 9.
59. The Nordic Electronics Packaging guideline. Chapter C: Polymer Bonding, General benefits and limitations of conductive adhesives. [WWW]. [viitattu 16.09.2009]. Saatavissa: <http://extra.ivf.se/ngl/C-PolymerBonding/ChapterC1.htm#C1.3>
60. Jennie, S. Hwang. Modern Solder Technology for Competitive Electronics Manufacturing. McGraw – Hill, 1996. 622 s.
61. Harles A. Harper. Electronic packaging and interconnection handbook. McGraw – Hill, 2004. 1000s.
62. Jalonen, P. Elektroniikan tuotantotekniikka. 2008. Tampereen Teknillinen Yliopisto, Porin Yksikkö. Luentomoniste.
63. Polvi, J. Elektroniikan tuotantotekniikan, laboratorioharjoitukset. 2008. Tampereen Teknillinen Yliopisto, Porin Yksikkö. Luentomoniste.
64. Judd, M. & Brindley, K. Soldering in Electronics Assembly 2 ed. Newnes, 1999. 369 s.
65. Wikipedia. Eutektinen seos [WWW]. [viitattu 20.10.2009]. Saatavissa: http://fi.wikipedia.org/wiki/Eutektinen_seos
66. Zequn, M., Holder, H. & Vander Plas, H. Low Temperature Solders. HP Journal, August (1996), s. 91 – 98.
67. Buehler Ltd. Low melting Point Metals. [WWW]. [viitattu 20.10.2009]. Saatavissa: http://www.buehler.com/technical_information/Buehler%20Book/low_melting_point_metals.pdf

68. C, Lu. & K.T, McDonald. Low – Melting – Temperature Metals for Possible Use as Primary Targets at a Muon Collider Source. 1997. The Trustees of Princeton University, Department of Physics. s. 32.
69. Mulugeta, A. & Selvaduray, G. Lead - Free Solders in Micoelectronics. *Material Science and Engineering* 27(2000), s. 95 – 141.
70. Coombs, Clyde F. *Coombs' Printed Circuit Handbook*. 6th ed. 2008. McGraw – Hill Companies. s. 1346.
71. Grusd, A. & Miric, A.Z. Lead - free alloys. *Soldering & Surface mount Technology* 10(1998)1, s.19 – 25.
72. *Chemistry Explained, Foundations and Applications*. Indium [WWW]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa: <http://www.chemistryexplained.com/elements/C-K/Indium.html>
73. About.com: Chemistry. Cadmium Facts [WWW]. [viitattu 25.10.2009]. Saatavissa: <http://chemistry.about.com/od/elementfacts/a/cadmium.htm>
74. Cadmium. Introduction [WWW]. [viitattu 28.10.2009]. Saatavissa: <http://www.cadmium.org/introduction.html>
75. ChemiCool. Cadmium Element Facts [WWW]. [viitattu 29.10.2009]. Saatavissa: <http://www.chemicool.com/elements/cadmium.html>
76. Tsai, Yi – Da., Chi – Chang, Hu. & Chi – Cheng, Lin. Electrodeposition of Sn – Bi lead – free solder: Effects of complex agents on the composition, adhesion, and dendrite formation. *Electrochimica Acta* 53(2007)4, s. 2040 – 2047.
77. Vuoristo, T. Binäärinen tasapainopiirros. 2004. Tampereen Teknillinen Yliopisto, Materiaaliopin laitos. Luentomoniste. Saatavissa: http://www.ims.tut.fi/vmv/2004/vmv_3_5_1.php
78. UCDAVIS, Department of Chemical Engineering and Materials Science [WWW]. [viitattu 27.10.2009]. Saatavissa: <http://www.matsci.ucdavis.edu/MatSciLT/ENG-45L/Files/Experiment-3.pdf>
79. Perry, M. *Electronic Failure Analysis Handbook*. McGraw – Hill Publishing Co, 1999. 520 s.

80. Mohamad Salmin Bin Jahari. Properties of Low Temperature Indium - based ternary lead free solders system. Master's Theis. 2008. University Sains Malaysia. 103 s.
81. Keun – Soo, K., Takayuki, I., Katsuaki, S., Mimoru, U. & rikiya, K. Properties of low temperature Sn - Ag - Bi - In solder systems. *Microelectronics Reliability* 47(2007), s. 1113 – 1119.
82. Chriastel'ova, J. & Ošvold, M. Properties of solders with low melting point. *Journal of Alloys and Compounds* 457(2008), s. 323 – 328.
83. Lahtinen, T. Liimaaminen liittämismenetelmänä. Seminaari 2006. Tampereen Teknillinen Yliopisto, Materiaaliopin laitos. [viitattu 17.11.2009]. Saatavissa: <http://www.asmfinland.fi/files/seminaariaineisto/liittaminen/Lahtinen.pdf>
84. Wikipedia. Adhesive [WWW]. [viitattu 17.11.2009]. Saatavissa: <http://en.wikipedia.org/wiki/Adhesive>
85. Korhonen, A. & Larkiola, J. Formetel - projektissa tutkittiin ohutlevyjen muovausta ja muovautuvia sähköliittimiä. *Ohutlevy* 2(2005), s. 28 – 35
86. PCS Electronics. PC / 104 – PC / 104 Plus Press – Fit Technology. [WWW]. [viitattu 23.09.2009]. Saatavissa: <http://www.pselex.com/files/datasheets/1479.pdf>
87. Ring, K. Reliability of Press Fit Contacts and adjoining SMD components on Printed Circuit Boards. [WWW]. [viitattu 27.10.2009]. Saatavissa: <http://www.ewh.ieee.org/soc/cpmt/tc1/h2009/abstracts/9-4.pdf>
88. Ept electronic precision technology. That fits – press-fit technology. [WWW]. [viitattu 27.10.2009]. Saatavissa: <http://www.ept.de/index.php?47cbbdef6a92c>
89. PRECI-DIP SA. PRESS-FIT TECHNOLOGY: A COST-EFFECTIVE ALTERNATIVE TO SOLDERING PROCESSES. [WWW]. [viitattu 27.10.2009]. Saatavissa: http://www.precidip.ch/data/files/pdf/products/press-fit-technology_en.pdf

LIITE I: EPOXY ADHESIVE



CREATIVEMATERIALS

Creative Materials, Inc.
141 Middlesex Road
Tyngsboro, MA 01879

www.creativematerials.com

ISO 9001 CERTIFIED

T 978.649.4700
F 978.649.2040

118-15A/B

ELECTRICALLY CONDUCTIVE EPOXY ADHESIVE

DESCRIPTION: 118-15A/B is an easy to use, 1 to 1 mix ratio, two part, heat curing, silver-filled epoxy adhesive. System is designed to be used for making electrical and mechanical attachments on electrical components and devices. Unlike typical heat curing systems, this product always results in excellent conductivity and is less sensitive to handling and ambient conditions. 118-15A/B is a faster curing version of 110-48(i).

	<u>Part A</u>	<u>Part B</u>
Appearance:	Silver	Silver
Consistency:	Paste	Paste
Mix Ratio (by weight):	1	1
Pot Life:	----	5 days @ 21°C

MIXING INSTRUCTIONS: Premix Parts A and B in original container prior to combining. Add Part B to Part A and mix until uniform.

CURING INSTRUCTIONS: Best results are obtained when product is cured at one of the following schedules:

90 mins @ 80°C	or
15 mins @ 120°C	or
5 mins @ 150°C	or
45 secs @ 175°C	

TYPICAL CURED PROPERTIES:

Volume Resistivity (Ω -cm)	0.0001 to 0.0004
Thermal Conductivity (W/mK)	6.5
Glass Transition Temperature (°C)	115
Tensile Shear Strength, min. (psi)	1500
Solvent Resistance	Excellent
Solderable	No
Specific Gravity (g/cc)	2.6
Useful Temperature Range (°C)	-55 to 200
Thermal Stability (°C)	Good to 300

STORAGE: Shelf life: 12 months at 25°C, in unopened, unmixed containers.

SAFETY & HANDLING: Use with adequate ventilation. Keep away from sparks and open flames. Avoid prolonged contact with skin and breathing of vapors. Wash with soap and water to remove from skin.

All technical information is based on data obtained by CMI personnel and is believed to be reliable. No warranty is either implied or expressed with respect to results or possible infringements on patents.

REVISION DATE: 3/30/09 REVISION: D

LIITE II: ACA



CREATIVEMATERIALS

Creative Materials, Inc.
141 Middlesex Road
Tyngsboro, MA 01879

www.creativematerials.com

ISO 9001 CERTIFIED

T 978.649.4700
F 978.649.2040

122-44

ANISOTROPIC CONDUCTIVE ADHESIVE

DESCRIPTION: 122-44 is a silicone, pressure sensitive, screen-printable anisotropic conductive adhesive. The overall balance of peel strength, cohesion, lap shear strength, high temperature holding power, and conductivity provides a versatility that makes this product useful in a wide range of fastening and bonding applications. This product is very resistant to flexing and creasing. 122-44 is designed for bonding rubber to a variety of substrates such as aluminum, stainless steel, and steel. Peel strength develops rapidly and continues to increase for approximately one week.

TYPICAL CURED PROPERTIES:

Volume Resistivity (Ω -cm)	(X, Y Axis) 1×10^{12} (Z Axis) 0.0001
Consistency	Medium viscosity liquid
Crease Resistance	Excellent
Hydrolytic Stability	Excellent
Useful Temperature Range ($^{\circ}$ C)	-70 to +260
Thermal Stability ($^{\circ}$ C)	Good to 325
Peel Strength (lbs./inch)	9 - 11

HANDLING & CURING: 122-44 is ready to use as supplied. Further thinning may be accomplished by adding small amounts of CMI 113-12 thinner. Apply thin film of adhesive to one or both surfaces to be bonded. Dry at room temperature for approximately 10 to 20 minutes. At this point, the surfaces should be pressed firmly together. Best properties, for most applications, result when cured for 5 to 10 minutes at 160 $^{\circ}$ C. Good properties are obtained on a variety of substrates by curing at temperatures ranging from 55 $^{\circ}$ C to 180 $^{\circ}$ C. Alternately, the assembled part can be cured at room temperature, allowing 1 week to develop full strength. End user is advised to experimentally determine temperature and time best suited for individual applications. (See back of sheet for step-by-step directions.)

STORAGE: Shelf life: 2 months at 25 $^{\circ}$ C; or 6 months at 5 $^{\circ}$ C; or 9 months at -10 $^{\circ}$ C.

SAFETY & HANDLING: Contains flammable solvents. Use with adequate ventilation. Keep away from sparks and open flames. Avoid prolonged contact with skin and breathing of vapors. Wash with soap and water to remove from skin.

PROCEDURE FOR APPLYING 122-44

- As with all adhesive bonds, surface preparation is a vital part of the process. Carefully clean both surfaces to be bonded with XYLENE if possible. If XYLENE is not compatible with the surfaces to be bonded, another suitable solvent may be substituted.
- Allow cleaned surfaces to dry for approximately 2-3 minutes.
- Apply CMI#122-44 to one or both surfaces to be bonded by means of a suitable technique (i.e. screen-printing, syringe dispensing, knife over roll coating, reverse roll coating, brushing, spraying, etc.). The thickness range for good bonding is typically 0.6 mils to 1.3 mils for most surfaces, but is influenced by the geometry of the surfaces. The end user is encouraged to experimentally determine the best thickness for each individual application.
- Allow CMI#122-44 to dry at room temperature until the solvent is evaporated out. (A slightly elevated temperature may be used to speed up the drying.) The time will vary depending on the thickness but usually is approximately 3-5 minute.
- Mate the second substrate to the adhesive and apply pressure. A pressure of about 100 psi. Is recommended. Pressure required is somewhat influenced by the geometry of the parts being bonded. If possible maintain pressure on the bonded item during operation.

LIITE III: ACA, EPOXY



CREATIVEMATERIALS

Creative Materials, Inc.
141 Middlesex Road
Tyngsboro, MA 01879

www.creativematerials.com

ISO 9001 CERTIFIED

T 978.649.4700
F 978.649.2040

121-20

ANISOTROPICALLY CONDUCTIVE, LOW TEMPERATURE CURING, EPOXY ADHESIVE

DESCRIPTION: 121-20 is a two component, low temperature curing, silver filled epoxy adhesive. 121-20 is designed to be used for making electrical and mechanical attachments of electrical components and devices, when shorts between closely spaced contact pads are a concern. 121-20 provides for electrical conductivity in the Z-axis while remaining electrically insulating in the X-axis and Y-axis. Unlike typical heat curing systems, this product always results in excellent conductivity and is less sensitive to handling and ambient conditions.

	<u>Part-A</u>	<u>Part-B</u>
Appearance:	Gray	Amber
Consistency:	Paste	Liquid
Mix Ratio (by weight):	100	4
Pot Life:	-----	> 48 hours

MIXING INSTRUCTIONS: Premix Part -A in original container prior to adding curing agent. Add Part B to Part A and mix until uniform.

CURING INSTRUCTIONS: Best results are obtained when product is cured at a pressure of at least 100-psi with one of the following cure schedules:

90 min	@	80°C	or
60 min	@	100°C	or
30 min	@	125°C	or
15 min	@	150°C	

TYPICAL CURED PROPERTIES:

Volume Resistivity (Ω -cm max)	
- Z-axis:	0.0001
- X, Y axes:	1×10^{12}
Water Absorption (%)	< 0.06
Tensile Strength (psi)	11,200
Solvent Resistance	Excellent
Solderable	No

STORAGE: Shelf life: 12 months at 25°C, in unopened, unmixed containers.

SAFETY & HANDLING: Use with adequate ventilation. Keep away from sparks and open flames. Avoid prolonged contact with skin and breathing of vapors. Wash with soap and water to remove from skin.

LIITE IV: ACA, EPOXY



www.creativematerials.com

ISO 9001 CERTIFIED

T 978.649.4700
F 978.649.2040

120-43

ANISOTROPICALLY CONDUCTIVE, EPOXY ADHESIVE

DESCRIPTION: 120-43 is a screen-printable, anisotropically conductive, epoxy adhesive. This product features excellent adhesion to Kapton, Mylar, glass, aluminum-sputtered substrates and a variety of other substrates. Unlike conventional conductive materials, this product is very resistant to solvents, heat, and thermocycling. Applications for 120-43 include, but are not limited to, conductive splicing of ribbon cables, bonding of flexcircuits to E.L. panels, and electrical attachment of surface mounted devices. This product is useful in application where a short between closely spaced contacts is a concern.

TYPICAL CURED PROPERTIES:

Volume Resistivity (Ω -cm)	
(X, Y-Axis):	1×10^{12}
(Z-Axis):	1×10^{-4}
Consistency	Smooth paste
Filler	Nickel
Hydrolytic Stability	Excellent
Useful Temperature Range ($^{\circ}$ C)	-55 to +200
Thermal Stability ($^{\circ}$ C)	Good to 325
T-Shear Strength (psi)	1200

HANDLING & CURING: Premix 120-43 in its original container before using to resuspend filler. Apply thin film of adhesive (0.6-1.3 mils) to one of the surfaces to be bonded. At this point, the surfaces should be pressed firmly together with 100 - 150 psi. of pressure. Best properties, for most applications, result when cured for 40 minutes at 155 $^{\circ}$ C, while maintaining pressure to insure proper mating. Good properties are obtained on a variety of substrates by curing at temperatures ranging from 130 $^{\circ}$ C to 200 $^{\circ}$ C. End user is advised to experimentally determine temperature, pressure and time best suited for individual applications. **Note:** It is not unusual for crystallization of the 120-43 to occur. Warm to 40-45 $^{\circ}$ C in a water bath to return the material to its original viscosity. The crystallization does not effect the performance of the product in any way.

STORAGE: Shelf life: 3 weeks at 25 $^{\circ}$ C; or 3 months at 5 $^{\circ}$ C; or 6 months at -10 $^{\circ}$ C.

SAFETY & HANDLING: Use with adequate ventilation. Keep away from sparks and open flames. Avoid prolonged contact with skin and breathing of vapors. Wash with soap and water to remove from skin.

LIITE V: ACA, THERMOPLASTIC



CREATIVEMATERIALS

Creative Materials, Inc.
141 Middlesex Road
Tyngsboro, MA 01879

www.creativematerials.com

ISO 9001 CERTIFIED

T 978.649.4700
F 978.649.2040

111-05

ANISOTROPIC CONDUCTIVE THERMOPLASTIC ADHESIVE

DESCRIPTION: 111-05 is an anisotropic, conductive hot melt adhesive solution. This product features excellent adhesion to Kapton, Mylar, glass and a variety of other substrates. Unlike conventional conductive materials, this product is very resistant to flexing and creasing. The product can be rebonded many times by simply adding heat and slight pressure. Applications for 111-05 include, but are not limited to, conductive splicing of ribbon cables, PTF circuits, and electrical attachment of surface mounted devices. This product is useful in application where shorts between closely spaced contacts is a concern.

TYPICAL CURED PROPERTIES:

Volume Resistivity (Ω -cm) (X, Y Axis)	1×10^{12}
(Z Axis)	0.0001
Consistency	Smooth paste
Crease Resistance	Excellent
Hydrolytic Stability	Excellent
Useful Temperature Range ($^{\circ}$ C)	-55 to 120
Thermal Stability ($^{\circ}$ C)	Good to 200
Peel Strength (lbs./inch)	9 - 11

HANDLING & CURING: 111-05 is ready to use as supplied. Further thinning may be accomplished by adding small amounts of MEK. Apply thin film of adhesive to both surfaces to be bonded. Dry at room temperature for approximately 10 to 20 minutes. At this point, the surfaces should be pressed firmly together. Best properties, for most applications, result when cured for 5 to 10 minutes at 120 $^{\circ}$ C. Good properties are obtained on a variety of substrates by curing at temperatures ranging from 50 $^{\circ}$ C to 180 $^{\circ}$ C. Alternately, the assembled part can be cured at room temperature, allowing 1 week to develop full strength. End user is advised to experimentally determine temperature and time best suited for individual applications. (See back of sheet for step-by-step directions.)

STORAGE: Shelf life: 2 months at 25 $^{\circ}$ C; or 6 months at 5 $^{\circ}$ C; or 9 months at -10 $^{\circ}$ C.

SAFETY & HANDLING: Contains flammable solvents. Use with adequate ventilation. Keep away from sparks and open flames. Avoid prolonged contact with skin and breathing of vapors. Wash with soap and water to remove from skin.

PROCEDURE FOR APPLYING 111-05

1. As with all adhesive bonds, surface preparation is a vital part of the process. Carefully clean both surfaces to be bonded with MEK if possible. If MEK is not compatible with the surfaces to be bonded, another suitable solvent may be substituted.
2. Allow cleaned surfaces to dry for approximately 2-3 minutes.
3. Apply CMI#111-05 to both surfaces to be bonded by means of a suitable technique (i.e. syringe dispensing, brushing, spraying, etc.). The thickness range for good bonding is typically 0.8 mils to 1.3 mils for most surfaces, but is influenced by the geometry of the surfaces. The end user is encouraged to experimentally determine the best thickness for each individual application.
4. Allow CMI#111-05 to dry at room temperature until it is tack-free to the touch. (A slightly elevated temperature may be used if needed.) The time will vary depending on the thickness, but usually is approximately 5-10 minutes.
5. Place the two surfaces together and cure in a heat-sealing press for 2-5 seconds @ 140°C using enough pressure to hold the surfaces tightly together. Lower temperatures may be used but the cure times will be longer.
6. Allow to cool to room temperature under the same pressure.
7. Remove pressure. Part is ready for use.