

PIIRILEVYN TUOTANTOPROSESSI

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietokone-elektronikka
Opinnäytetyö
Kevät 2009
Olli Rantala

Lahden ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma

RANTALA, OLLI:

Piirilevyn tuotantoprosessi

Tietokone-elektroniikan opinnäytetyö, 63 sivua

Kevät 2009

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön aiheena on piirilevyn tuotantoprosessi. Työ käsittelee piirilevyn eri muotoja ja sen perusrakennetta. Käsiteltäviä asioita ovat myös piirilevyn materiaalit ja niiden ominaisuudet, lainsäädännölliset asiat ja piirilevyn tuotannon eri työvaiheet.

Opinnäytetyön tarkoitus on syventyä piirilevytekniikkaan ja piirilevyn tuotantoprosessiin. Tarkoitus on myös syventää omaa tietoutta piirilevyistä ja samalla parantaa ammattitaitoani piirilevyn valmistuksessa.

Työ on tarkoitus toteuttaa tutustumalla piirilevytekniikkaan ja tuotantoprosessiin käyttämällä erilaisia lähteitä sekä tutustua käytännön piirilevyn valmistukseen Elprintta Oy:ssä.

Työn tuloksena olen kehittynyt ammatillisesti paljon, ja ymmärrän piirilevyn valmistusprosessin työvaiheiden menetelmät. Piirilevymateriaalit ja niiden erilaiset ominaisuudet tulivat tutuiksi työtä tehdessäni.

Avainsanat: piirilevy, FR-4, tuotantoprosessi

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology

RANTALA, OLLI: Manufacturing process of printed circuit boards

Bachelor's Thesis in Computer Electronics, 63 pages

Spring 2009

ABSTRACT

The subject of this thesis is the manufacturing process of printed circuit boards. The thesis discusses the printed circuit board in its different forms and its basic structure. Other subjects are the materials of printed circuit boards and different properties of the materials, legal aspects and the different stages of the manufacturing process of printed circuit boards.

The objective of this thesis was to explore printed circuit board technology and its manufacturing process. Another objective was to increase my knowledge of printed circuit board technology and my skills to manufacture printed circuit boards.

The thesis was done by exploring printed circuit board technology and its manufacturing process from literature sources and observing the manufacturing process of printed circuit boards at Elprintta Oy.

The result of this thesis is my increased knowledge of the manufacturing process of printed circuit boards. I now understand the principles of every major manufacturing stage. The materials and their characteristics also became familiar to me.

Key words: printed circuit board, FR-4, manufacturing process

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 RESTRICTION OF HAZARDOUS SUBSTANCES	2
3 PIIRILEVY JA MATERIAALIT	6
3.1 Piirilevy tyypit	6
3.2 Piirilevyn materiaalit	12
3.2.1 FR-4	14
3.2.2 Hartsit	15
3.2.3 Vahvikkeet	21
3.2.4 Johdin materiaalit	23
3.3 Materiaalien ominaisuudet	27
3.3.1 Termiset ominaisuudet	27
3.3.2 Fyysiset ominaisuudet	30
3.3.3 Elektroniset ominaisuudet	32
4 PIIRILEVYN TUOTANTOPROSESSI	33
4.1 Valmistelu	35
4.2 Poraus	36
4.3 Kuvionsiirto	38
4.4 Syövytys	41
4.5 Metallointiprosessi	43
4.6 Prässäys	45
4.7 Pintakäsittely	45
4.7.1 Suojapinnoitteet	45
4.7.2 Juotosmaski	47
4.8 Tarkastus ja testaus	49
4.9 Työstö	52
4.9.1 Jyrsintä	52
4.9.2 Uritus	53
5 YMPÄRISTÖKYSYMYKSET	55
6 AMMATILLISEN KEHITYKSEN POHDINTA	57

7 YHTEENVETO

59

LÄHTEET

61

LYHENNELUETTELO

RoHS	Restriction of Hazardous Substances. EU:n asettama direktiivi, joka pyrkii vähentämään vaarallisten aineiden käyttöä elektroniikkateollisuudessa.
PTH	Plated Through Hole. Piirilevyllä olevien reikien läpimetallointi tekniikka, jossa reiän sisäpinta päällystetään kuparilla.
NEMA	National Electrical Manufacturers Association. Yhdysvaltalainen yhdistys, joka ajaa elektroniikkateollisuudessa toimivien valmistajien etuja.
IPC	Interconnecting and Packaging Electronic Circuits. Järjestö, joka yhdistää elektroniikka-alan eri toimialoja.
FR-4	Flame Retardant 4. Piirilevy materiaali, jossa on palamisen suoja.
CTE	Coefficient of thermal expansion. Lämpölaajenemiskerroin.
CAM	Computer Aided Manufacturing. Tietokoneohjelmisto, jolla valmistellaan piirilevy työt tuotannolle.
CNC	Computerized Numerical Control. Tietokone ohjattu työkone.
HASL	Hot Air Solder Level. Piirilevyn komponenttien kiinnityskohtien suojaainnoite.
ENIG	Electroless Nickel / Immersion Gold. Piirilevyn komponenttien kiinnityskohtien suojaainnoite.

OSP Organic Solderability Presevative. Piirilevyn komponenttien kiinnityskohtien suojapinnoite.

AOI Automatic Optical Inspection. Automaattinen optinen tarkastus.

1 JOHDANTO

Piirilevy on ollut jo monia vuosikymmeniä elektronisten laitteiden perusosa, ja jokaisen nykyaikaisen elektronisen laitteen sisältä löytyy yksi tai useampi piirilevy. Piirilevyn kehitys vuosien myötä on ollut merkittävää ja myös piirilevyn valmistusprosessi on kehittynyt vuosien varrella. Nykyaikainen piirilevy voi sisältää jopa 70 eri kerrosta, ja pienimmät johdinkuvion paksuudet voivat olla jopa 25 µm. Komponenttien pienentyessä ja laitteiden vaatimusten kohotessa on piirilevyteknologia kehittymässä aina vain pienempään suuntaan.

Työn tarkoitus on selvittää lukijalle, miten piirilevy valmistetaan ja mitä asioita valmistusprosessissa tulee ottaa huomioon. Työn tavoitteena on myös kasvattaa oma ammatillista tietoutta piirilevytekniikan eri osa-alueilla.

Tämä työ käsittelee piirilevyn ja sen valmistuksen eri osa-alueita. Työn aluksi käsitellään Euroopan Unionin laatimaa RoHS- lainsäädännöllistä muutosta, joka pakotti elektroniikkateollisuuden käyttämien materiaalien, komponenttien ja valmistusprosessien muutoksiin. Käyn läpi piirilevyn perustyyppit ja piirilevyn valmistusmateriaalien rakenteet ja niiden piirilevyille antamat ominaisuudet. Piirilevyn valmistusprosessista käyn läpi tärkeimmät työvaiheet ja lopuksi käsittelen piirilevyn valmistuksesta syntyvien jätteiden käsittelyä ja niiden kierrätystä.

Työ on kasattu erilaisista kirjallisista lähteistä sekä haastatteleamalla piirilevyn valmistuksen ammattilaisia. Näiden aineistojen lisäksi tutustuin käytännön piirilevyn valmistukseen Elprintta Oy:ssä, josta saatuja tietoja ja ideoita käytin työni tekemisessä.

2 RESTRICTION OF HAZARDOUS SUBSTANCES

Vuonna 2003 Euroopan Unioni antoi direktiivin 2002-95-EY, joka rajoittaa tiettyjen vaarallisten aineiden käyttöä elektroniikassa tai elektroniikkateollisuudessa. Direktiivin päämäärä on rajoittaa vaarallisten aineiden joutumista kaatopaikoille, lisätä kierrätystä ja tehdä laitteista ja niiden valmistusprosesseista ympäristöystävällisempiä. (Eur-Lex 2003.)

RoHS kohdistuu kuuteen eri materiaaliin, jotka ovat laajasti käytettyjä elektroniikkateollisuudessa (Asetus 969/2006). Taulukossa 1 on listattu materiaalit ja niiden sallitut esiintymisarvot.

TAULUKKO 1. RoHS:n kieltämät materiaalit ja niiden sallitut esiintymisarvot (Asetus 969/2006).

Materiaali	Lyhenne	Max. Sallittu paino(%)
Kuuden arvoinen kromi	Cr ⁺⁶	0.1
Kadmium	Cd	0.01
Elohopea	Hg	0.1
Lyijy	Pb	0.1
Polybromibifenyylimuunnos	PBB	0.1
Polybromibifenyylimuunnos	PBDE	0.1

Yhteensopivuus RoHS direktiivin kanssa todetaan laitteen tai materiaalin jokaisen yksittäisen osan kanssa erikseen. Jokaisesta yksittäisestä osasta mitataan kiellettyjen materiaalien osuus ja sitä verrataan kokonaispainoon. (Coombs 2008a, 1.4.)

RoHS direktiivi ei määrää kovin yksityiskohtaisia ohjeita siitä, minkälaisilla testeillä tai menetelmillä yhteensopivuus todetaan. Yksinkertaisilla kemiallisilla testeillä voidaan melko varmasti todeta kuuden arvoisen kromin, kadmiumin, elohopean tai lyijyn läsnäolo. Testit, kuten atomispektroskopia (AAS), röntgenfluoresenssispektrometri (XRF) ja kaasukromatografi/massaspektrometri (GC-MS), ovat menetelmiä, joilla voidaan kerätä tarkkaa tietoa materiaalien esiintyvyydestä. Nämä menetelmät vaativat kuitenkin erittäin kalliita laitteistoja ja ammattitaitoisia käyttäjiä. (Coombs 2008a, 1.5.)

RoHS-direktiivi sallii useita poikkeuksia käyttökohteissa, jotka koskevat kuuden arvoista kromia, kadmiumia, elohopeaa ja lyijyä. Alla olevassa listassa on tärkeimmät poikkeukset, jotka koskevat elektroniikka teollisuutta (Asetus 969/2006):

- lyijy korkeita lämpötiloja kestävässä juotoksissa, joiden juotosseokset sisältävät lyijyä yli 85 prosenttia sekä tinaa.
- lyijy palvelinten, tallennus- ja ryhmätallennuslaitteiden juotoksissa.
- lyijy kytkentään, merkinantoon ja siirtoon tarkoitettujen verkkoinfrastruktuuri-laitteiden sekä tietoliikenneverkon hallintalaitteiden juotoksissa.
- lyijy elektronisissa keraamisissa osissa, kuten pietsosähköisissä laitteissa.
- lyijy juotoksissa, jotka koostuvat useammasta kuin kahdesta elementistä, joilla liitetään pinnit koteloon mikroprosessoreissa. Juotosten lyijypitoisuus pitää olla yli 80 % ja alle 85 % painosta.
- lyijy juotoksissa, jolla viimeistellään elektroniset yhteydet puolijohteen ja mikropiirin välillä Flip Chip -koteloissa.

- kadmium ja sen yhdisteet elektronisissa kontakteissa ja kadmiumpinnoitteet lukuun ottamatta direktiivissä 91/338/ETY kiellettyjä käyttötarkoituksia.

Direktiivin voimaantulo sai aikaan suuria mullistuksia elektroniikkateollisuuden keskuudessa. Vaikutukset näkyivät useissa prosesseissa ja materiaaleissa, joita oli käytetty laajasti elektroniikkateollisuudessa.

Suurin muutos oli lyijyn käytön kieltäminen juotoksissa, mikä vaikuttaa suurimpaan osaan elektroniikka alan prosesseista ja materiaaleista. Vaikutukset johtuvat lyijyllisen juotoksen alhaisemmasta sulamispisteestä. Tavallisella tina-lyijy juotteella sulamispiste on noin 183 °C, kun taas nykyisesti yleisesti käytössä olevalla tina-hopeakupari juotteella 217 °C – 221 °C. Tämä vaikuttaa siten, että materiaalien ja laitteiden tulee kestää suurempia juotoslämpötiloja. (IPC 2009.)

Komponentit, kuten mikropiirit, passiiviset komponentit tai liittimet, kärsivät suuresta juotoslämpötilasta juotosprosessissa. Komponentit imevät itseensä kosteutta ilmasta, ja kun ne ajetaan juotosprosessin vaatiman korkean lämpötilan läpi, voi komponenteissa ilmetä halkeilua. Komponenttien halkeilu johtuu kosteuden laajentumisesta komponentin sisällä, jonka takia komponentit tulee kuivattaa ennen juottamista. Suuremmat juotoslämpötilat aiheuttavat suuremmat kuivausajat komponenteille, ja kuivausprosessista tulee entistä tarkempaa. Lisäksi kaikki komponentit eivät sovellu lyijyttömään juottamiseen. Korkea juotoslämpötila voi aiheuttaa komponenteissa elektronisten ominaisuuksien muutoksia, halkeilua, sulamista tai muita vahinkoja. Komponenttien valmistajien onkin ilmoitettava, onko komponentti sopiva lyijyttömään juottamiseen. (Coombs 2008a, 1.6.)

Piirilevyn eriste osana toimivalle laminaatille uusi korkeampi lämpötila aiheuttaa ongelmia. Vanhat laminaatit eivät kestä lyijyttömän juotoksen korkeampaa lämpötilaa, ja ne voivat taipua, vääristyä, rakoilla tai jopa tummua korkeamman lämpötilan vuoksi. Z-akselin suuntainen laajentuminen on myös yksi ongelma, jonka korkeampi lämpötila tuo tullessaan. Kyseinen laajentuminen voi rikkoa piirilevyllä olevia PTH-reikiä. Laminaatin sidokset voivat alkaa hajota korkeassa lämpötilassa. Laminaatin

sidoksista hajoaa yleensä vain 3-5 %, mutta se on luotettavuuden kannalta merkittävä asia. Näiden ongelmien takia laminaatin lasittumislämpötilaa T_g ja hajoamislämpötilaa T_d tulisi tarkkailla valittaessa laminaattia käytettäväksi lyijyttömässä juottamisessa. (Coombs 2008a, 1.7);(IPC 2009.)

Juottamisessa käytettävät fluxit, jotka parantavat juotettavuutta, kärsivät myös korkeasta lämpötilasta. Fluxin tärkeät ainesosat voivat haihtua pois, ennen kuin juottaminen ehditään suorittamaan loppuun. Fluxit toimivat eristeenä piirilevyn pinnalla, ja jos tämä eriste häviää ennen juottamista, juotospinnat voivat hapettua pilaten juotoksen. (Coombs 2008a, 1.8.)

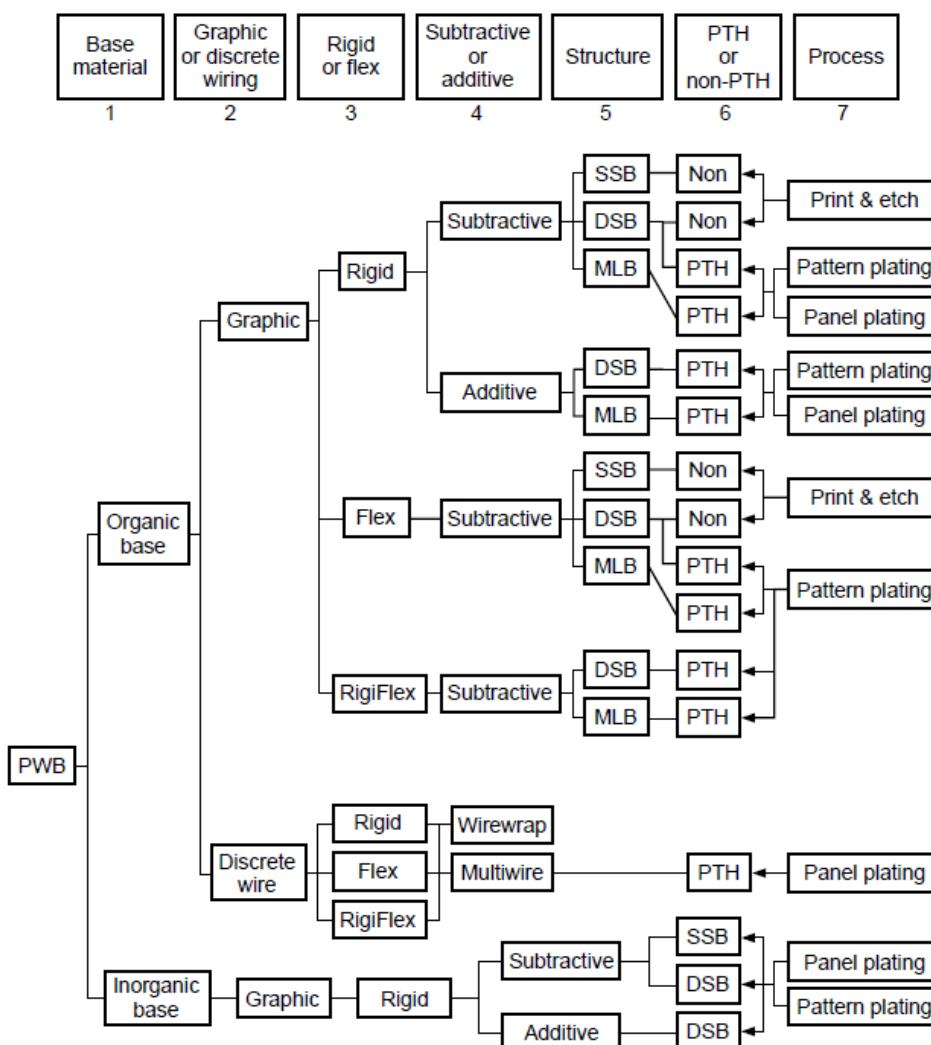
Lyijytön juottaminen aiheuttaa myös kustannusten kasvua. Useat uudet menetelmät ovat suurien yritysten tai yliopistojen kehittämiä ja myös patentoimia. Valmistajat joutuvat maksamaan näiden patenttien käyttämisestä. Myös laminaatit ja komponentit, jotka sopivat lyijyttömään juottamiseen, ovat kalliimpia kuin lyijylliseen sopivat. Energia kustannukset kasvavat korkeampien lämpötilojen käytön myötä ja myös henkilöstön uudelleen kouluttaminen aiheuttaa kustannuksia yrityksille. Tina ja lyijy ovat korkean esiintyvyytensä ja käsittelyn helppouden takia edullista. Lyijyttömässä juottamisessa käytettävät korvaavat materiaalit, kuten indium, gallium tai hopea on kalliimpia ja harvinaisempia, ja ne kasvattavat kustannuksia. Laitteistoja ja koneita voidaan joutua korvaamaan uusilla lyijyttömän juottamisen vaatiman korkeamman lämpötilan takia. (Coombs 2008a, 1.8 – 1.9.)

3 PIIRILEVY JA MATERIAALIT

Piirilevyjä on jo pitkään valmistettu elektronisten laitteiden peruskomponenteiksi. Valmistustavat ja piirilevyjen materiaalit ovat kehittyneet huomattavasti piirilevyn kehityskaaren aikana. Nykyaikaisissa elektronisissa laitteissa piirilevyltä vaaditaan useita eri ominaisuuksia, kuten lämmönkestoa, mekaanista kestävyyttä, häviöttömyyttä tai lämmönjohtavuutta. Vaatimusten noustessa vaaditaan piirilevyjen ja materiaalien valmistajilta aina vain enemmän ammattitaitoa ja uuden teknologian kehittämistä, jotta vaatimukseen voitaisiin vastata.

3.1 Piirilevy tyypit

Piirilevyjä on kehitetty monia erilaisia tyyppejä. Niitä voidaan lajitella niiden ominaisuuksien avulla. Kuviossa 1 on esitelty piirilevyjen tyypit niiden eri ominaisuuksien perusteella.

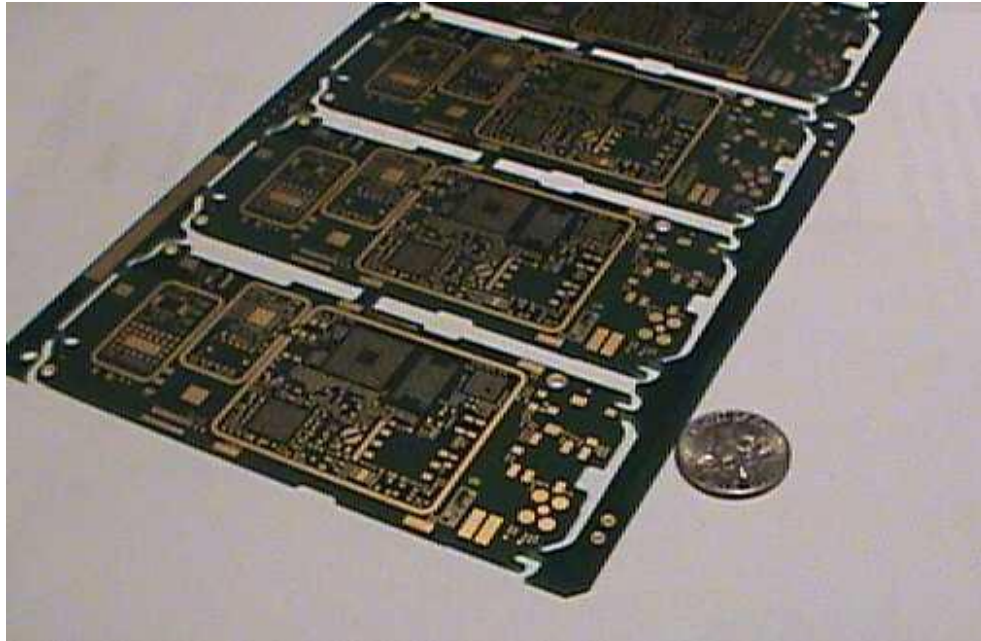


KUVIO 1. Piirilevyjen luokittelu (Coombs 2001b, 5.2).

Piirilevyyn pohjamateriaalit jaotellaan orgaanisiin ja ei-orgaanisiin. Orgaaniset materiaalit voivat koostua paperista, joka on kyllästetty fenolihartsilla tai kudotusta lasikuidusta, joka on kyllästetty epoksihartsilla, polyimidillä, syanaatti esterillä tai BT hartsilla. Ei-orgaanisiin materiaaleihin kuuluu pääasiassa keraamisia ja metallisia materiaaleja, kuten alumiini tai kupari-invar seos. (Coombs 2008a, 5.3.)

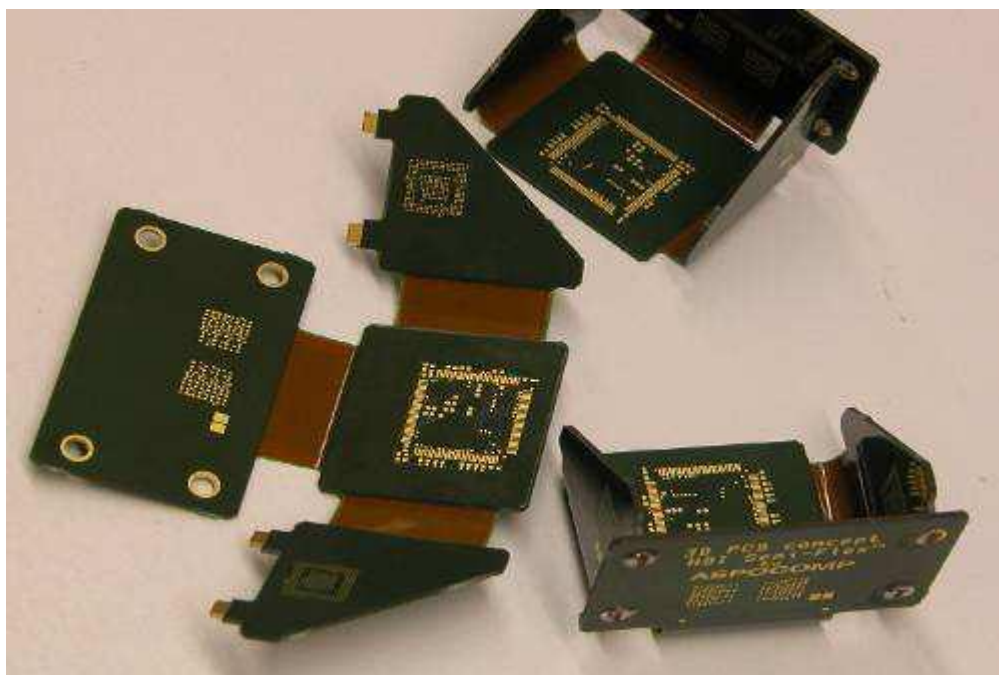
Piirilevyt voidaan myös luokitella jäykkiin ja taipuviin levyihin. Jäykät (rigid) piirilevyt koostuvat jäykistä materiaaleista, kuten epoksihartsilla kyllästetystä lasikuidusta

tai alumiinista. Suuri osa tuotetuista piirilevyistä on jäykkiä piirilevyjä. Kuviossa 2 on esimerkki jäykästä piirilevy näkkäristä.



KUVIO 2. Jäykkä piirilevy näkkäri (Sandholm 2007b).

Taipuvat (flexible) piirilevyt valmistetaan yleensä polyesteristä tai polyimidistä. Piirilevyt taipuvat erilaisiin asentoihin, mikä helpottaa pieniin tai ahtaisiin tuotteisiin asennettävien piirilevyjen suunnittelua. Jäykkiä ja taipuvia piirilevyjä yhdistellään myös toisiinsa, jotta jäykkien levyjen tukirakennetta ja taipuvien levyjen taipuisuutta saadaan hyödynnettyä. Kuviossa 3 on esitelty jäykän ja taipuisan piirilevyn yhdistelmä. (Coombs 2008a, 5.5.)



KUVIO 3. Rigid-flex piirilevy (Sandholm 2007b).

Piirilevyt valmistetaan joko kuparia vähentävällä (subtractive) tai kuparia lisäävällä (additive) menetelmällä. Tämä koskee lähinnä johdinkuvion valmistamista piirilevyille. Vähentävä menetelmä on pääasiassa kuparin syövyttämistä pois piirilevyttä jättäen johdinkuvion piirilevyille. Kuparia lisäävä menetelmä on galvanointia tai suorametallointia, jossa piirilevyille lisätään metallia galvaanisella prosessilla.

Piirilevyn johdinkuviot voidaan muodostaa kahdella eri tapaa: graafisesti tai discrete-wire menetelmällä. Graafisesti johdinkuviota tehdessä johdinkuvio tulostetaan muovikalvolle, josta se siirretään piirilevyille valottamalla tai printtaamalla. Johdinkuvio voidaan myös siirtää suoraan piirilevyille laserilla valottamalla, mutta tämä tapa on hitaampaa kuin kalvoa käyttäen. Lähes kaikki piirilevyt valmistetaan käyttämällä graafista johdinkuvion valottamista sen nopeuden ja pienten kustannusten ansiosta. (Coombs 2008a, 5.3 – 5.4.)

Discrete-wire menetelmällä valmistetut piirilevyt eivät tarvitse johdinkuvion valottamista piirilevyille. Johdinkuvio rakennetaan piirilevyille käyttäen ohuita kupari johtoja. Menetelmällä saadaan hyvin tiheä johdinkuvio yksipuoliselle piirilevyille. Yhtä tiheä

johdinkuvio graafisesti valotetussa piirilevyssä vaatisi useita kerroksia piirilevyille. Discrete-wire ei ole soveltuva menetelmä massatuotantoon, koska sen valmistus on hidasta. (Coombs 2008a, 5.4.)

Graafisesti valotetut piirilevyt voidaan jakaa vielä kolmeen eri kategoriaan:

- yksipuoleiset piirilevyt
- kaksipuoleiset piirilevyt
- monikerrospiirilevyt

Yksipuoleisissa piirilevyissä johdinkuvio on vain yhdellä puolella piirilevyä. Nämä piirilevyt ovat yksinkertaisia, halpoja valmistaa ja massatuotantoon soveltuvia. Tuotantolinjat ovat yleensä automatisoituja liukuhihnalinjoja, joilla pystytään valmistamaan suuria määriä piirilevyjä. Yksipuolisissa piirilevyissä käytetään halvimpia materiaaleja, kuten paperipohjaista XPC-FR. Myös paperipohjaista FR-2 ja paperi/lasikuitupohjaista CEM-1 materiaaleja käytetään niiden eri ominaisuuksien takia. Ei-orgaanisista materiaaleista, kuten alumiinista, valmistetut piirilevyt ovat yleensä yksipuolisia. (Coombs 2008a, 5.6.)

Kaksi-puoleisissa piirilevyissä levyn kummallakin puolella on johdinkuviot. Piirilevyn eri puolia kutsutaan komponenttipuoleksi ja juotospuoleksi. Komponenttipuolelle kiinnitetään nimensä mukaisesti suurin osa komponenteista, ja juotospuoli on komponenttien kiinnijuottamisen yhteydessä juotettava puoli. Johdinkuviot voidaan yhdistää toisiinsa poraamalla piirilevyille reikiä ja läpi metalloimalla reiät. Lämpimetallointi tekniikat voidaan jakaa kahteen eri ryhmään:

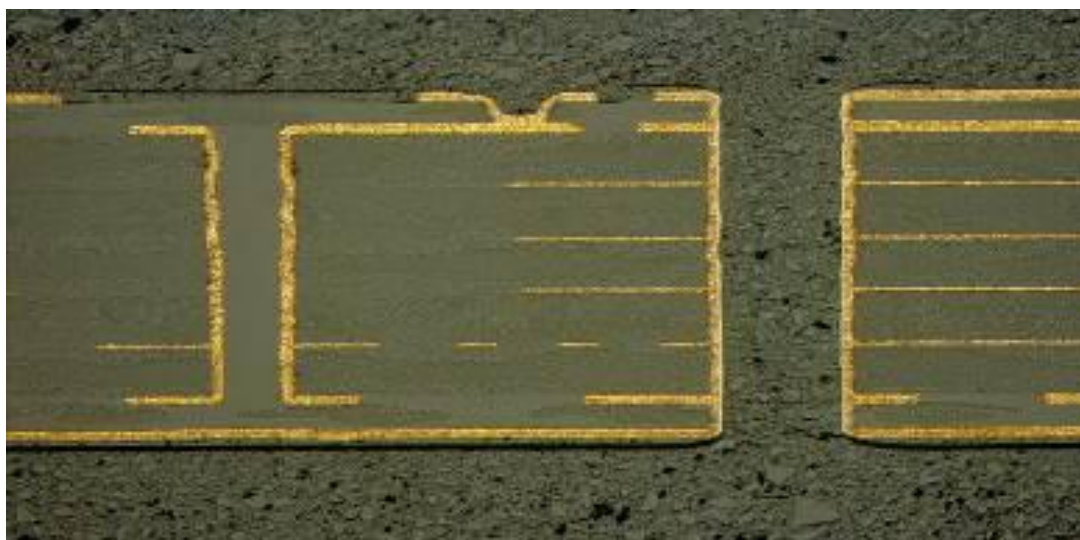
- Plated Through Hole (PTH) -tekniikka on yleisempi näistä kahdesta tekniikasta. Siinä piirilevyn reikien sisäpinnat käsitellään katalyytillä, esim. palladiumilla, jotta metalloidessa reikien sisäpintaan muodostuu kuparipinta. (Coombs 2008a, 5.7.)

- Silver Through Hole (STH) tekniikkaa käytetään tietyissä suuri volyymisissä tuotannoissa, sen matalien kustannusten takia. Materiaaleina käytetään yleensä CEM-1 tai CEM-3. Johdinkuviot syövytetään kummallekin puolelle piirilevyä, minkä jälkeen reiät porataan tai painetaan. Reiät täytetään johtavalla hopeapastalla tai vaihtoehtoisesti kuparipastalla. Hopeapastan elektroniset ominaisuudet ovat huonot verrattuna PTH tekniikkaan, mutta samanlaisen PTH piirilevyn valmistus kustannukset voivat olla jopa puolet suurempia. (Coombs 2008a, 5.7.)

Monikerrospiirilevyillä on kolme tai useampia kerroksia. Kaikista kehittyneimmissä piirilevyissä voi olla jopa 70 kerrosta, mutta useimmissa monikerrospiirilevyissä on neljästä kymmeneen kerrosta. Monikerrospiirilevyjen kerrokset voidaan valmistaa eri materiaaleista, jolloin piirilevy saa uniikkeja ominaisuuksia verrattuna yksi- tai kaksikerros levyihin. Monikerrospiirilevyjä käytetään nykyään melkein kaikissa kehittyneissä elektronisissa tuotteissa.

Monikerrospiirilevyjä valmistetaan melkein samaan tapaan kuin PTH-levyjäkin, mutta on myös kehitetty tekniikoita, joissa kerrosten väliset yhteydet on tehty ilman porausta tai painamista. Tekniikoita on kehitetty vastaamaan koko ajan kasvavaan tarpeeseen saada piirilevyille pienempiä komponentteja pienempään tilaan, pienempiä johdimia tai nopeampia signaaleja. Samaan aikaan tila piirilevyillä vähenee ja kerrosten välisiin yhteyksiin on vähemmän tilaa. Läpiporatut reiät vievät tilaa jokaiselta kerrokselta ja vähentävät mahdollisten yhteyksien tekemistä kerroksiin. (Coombs 2008a, 5.8.)

Läpiporattujen reikien (through via) rinnalla käytetään myös sokeita reikiä (blind via), jotka ovat piirilevyn pinnalta ensimmäiseen tai toiseen kerrokseen läpi porattuja reikiä ja haudattuja reikiä (buried via), jotka ovat piirilevyn sisäkerroksissa olevia reikiä. Kuviossa 4 havainnollistetaan edellä mainittujen reikien muotoa.



KUVIO 4. Läpiporatut, sokeat ja haudatut reiät (Sandholm 2007a).

3.2 Piirilevyn materiaalit

Piirilevyt koostuvat kolmesta perusosasta: hartsista, vahvikkeesta ja johdin materiaalista. Näistä perusosista on kehitetty monenlaisia eri versioita, joita yhdistelemällä voidaan tuottaa piirilevyjä monenlaisiin tarkoituksiin. Materiaaleista on kehitetty eri versioita valmistajien tarpeiden ja kustannusten takia. Myös RoHS on luonut paineita materiaalien kehittämiseen.

Koska materiaaleista on kehitetty niin monia versioita, National Electrical Manufacturers Association (NEMA) on kehittänyt ensimmäisen materiaalien luokittelujärjestelmän. Järjestelmässä on monia eri luokkia, ja luokkien sisällä voi eri materiaalien ominaisuudet vaihdella. Taulukossa 2 on listattu tärkeimmät materiaaliluokat ja niiden hartsi- ja vahvikeominaisuudet sekä palamisen esto. (Coombs 2008a, 6.4.)

TAULUKKO 2. NEMA perusmateriaalien luokitukset (Coombs 2008a, 6.4).

Luokka	Harts	Vahvike	Palamisen suoja
XXXPC	Fenoli	Paperi	Ei
FR-2	Fenoli	Paperi	Kyllä
FR-3	Epoksi	Paperi	Kyllä
FR-4	Epoksi	Lasikuitu	Kyllä
FR-5	Epoksi	Lasikuitu	Kyllä
FR-6	Polyesteri	Lasikuitu	Kyllä
G-10	Epoksi	Lasikuitu	Ei
CEM-1	Epoksi	Paperi / Lasikuitu	Kyllä
CEM-2	Epoksi	Paperi / Lasikuitu	Ei
CEM-3	Epoksi	Lasikuitu	Kyllä
CEM-4	Epoksi	Lasikuitu	Ei
CRM-5	Polyesteri	Lasikuitu	Kyllä
CRM-6	Polyesteri	Lasikuitu	Ei
CRM-7	Polyesteri	Lasikuitu	Kyllä
CRM-8	Polyesteri	Lasikuitu	Ei

Jokaista luokkaa käytetään erilaisissa käyttötarkoituksissa, mutta eniten käytetyt luokat ovat CEM-1, CEM-3, FR-2 ja FR-4. (Coombs 2008a, 6.4.)

CEM-1:stä käytetään yleisesti kuluttaja- ja teollisuuselektroniikan valmistuksessa. Piirilevyt ovat varsin yksinkertaisia ja usein yksipuolisia. CEM-1 käyttää paperi ydintä, jonka pinnoilla on lasikuitukerrokset. Kummatkin materiaalit on kyllästetty epoksihartsilla. Materiaalin ominaisuudet mahdollistavat levyjen helpon työstön pienentäen kustannuksia ja nopeuttaen läpimenoaikaa. (Coombs 2008a, 6.4.)

CEM-3 sopii paremmin hieman monimutkaisempien piirilevyjen valmistukseen. Sitä käytetään yleisesti autojen elektroniikassa ja kodin viihdekeskusten elektroniikassa. CEM-3 käyttää ytimenään epoksihartsilla kyllästettyä kudottua lasikuitua, ja pinnoilla on epoksihartsilla kyllästetyt lasikuitukerrokset. CEM-3 on kustannuksiltaan kalliimpi kuin CEM-1, mutta parempi vaihtoehto, jos PTH-reikiä käytetään. (Coombs 2008a, 6.4.)

FR-2 koostuu fenolihartsilla kyllästetyistä paperikerroksista. FR-2 on kustannuksiltaan halpaa käyttää, ja sillä on hyvät työstämisominaisuudet. Se on käytössä erittäin alkeellisissa sovelluksissa, kuten radioissa, leluissa tai laskimissa. (Coombs 2008a, 6.4.)

3.2.1 FR-4

FR-4 on piirilevyteollisuuden käytetyin perusmateriaaliluokka. FR-4 koostuu lasikuitu säikeistä, jotka on kyllästetty epoksihartsilla tai sen muunnoksilla. FR-4 käytetään useissa vaativissa käyttökohteissa, kuten tietokoneissa, tallennuslaitteissa, telekommunikaatiolaitteissa ja autoteollisuuden kohteissa. FR-4:llä on erittäin hyvät sähköiset, mekaaniset ja termiset ominaisuudet. (Coombs 2008a, 6.4.)

Nykypäivän elektroniikkateollisuudella on monia käyttökohteita piirilevyille. Vaatimukset vaativille ja huipputeknologiaa käyttäville laitteille nousevat koko ajan. Piirilevyteollisuudessa FR-4 on kasvanut eniten käytetyksi materiaaliksi sen monimuotoisuuden vuoksi. FR-4 luokassa on monia erilaisia materiaaleja, mutta niiden peruskoostumus on sama. Muuttamalla perusosien koostumusta saa materiaali erilaisia ominaisuuksia. (Coombs 2008a, 6.13.)

Epoksihartsin on yksi FR-4 perusosista. Epoksihartsin koostumusta muuttamalla pystytään muokkaamaan piirilevyn saamaa lasittumislämpötilaa T_g . FR-4:sen lasittumislämpötilat vaihtelevat 110 °C:sta jopa 200 °C:een. Tämä osaltaan vaikuttaa siihen, että FR-4 käytetään yksinkertaisissa ja vaativissa piirilevyissä. (Coombs 2008a, 6.13.)

Palamisen esto on yhtenäinen piirre kaikille FR-4 luokassa oleville materiaaleille. Ei-halogeenipohjaiset, fosforipohjaiset tai alumiinihydroksidi ovat aineita, joiden avulla voidaan saada FR-4:lle erilaisia palamisen esto tai muita ominaisuuksia. (Coombs 2008a, 6.13.)

FR-4 materiaaleihin voidaan myös lisätä ei-orgaanisia lisäaineita muuttamaan tiettyä ominaisuutta. Yleensä näillä lisäaineilla pyritään muuttamaan z-akselin suuntaista laajentumista, mutta niillä voidaan vaikuttaa myös hajoamislämpötilaan T_d ja time-to-delamination ominaisuuksiin. (Coombs 2008a, 6.13.)

Materiaalit, joita FR-4 levyt käyttävät, eteenkin lasikuitu ja epoksihartsi, luovat erittäin hyvän yhdistelmän, joka luo erinomaisen käsiteltävyyden, suorituskyvyn ja hinnan. Laaja kirjo erilaisia lasikuitu kudoksia antaa mahdollisuuksia erilaisiin piirilevyypaksumuksiin ja luo FR-4 materiaaleille hyvän eristävyuden. Erilaiset epoksihartsit mahdollistavat sen, että FR-4:sta voidaan käyttää haastavissa piirilevytuotannoissa. Epoksia on myös suhteellisen helppo työstää normaalissa piirilevyn valmistusprosessissa. (Coombs 2008a, 6.14.)

FR-4:sen käyttämät perusmateriaalit, lasikuitukudos ja epoksihartsi, ovat siinäkin suhteessa muita luokkia paremmassa asemassa, että niiden valmistusprosessiin kehitykseen ei tarvinnut tuhjata voimavaroja. Lasikuitukudosta, jota piirilevyjen vahvike-materiaalina käytetään, pystytään tuottamaan lähes samalla tavalla kuin normaalia kangasta, jota käytetään vaatteiden valmistuksessa. Myös epoksihartsilla on monia eri käyttökohteita piirilevyteollisuuden ulkopuolella, ja sitäkin on valmistettu jo pitkän aikaa. Näistä syistä FR-4:sta on pystytty tuottamaan edullisesti heti kehityksen alkuvaiheissa. (Coombs 2008a, 6.14.)

3.2.2 Hartsi

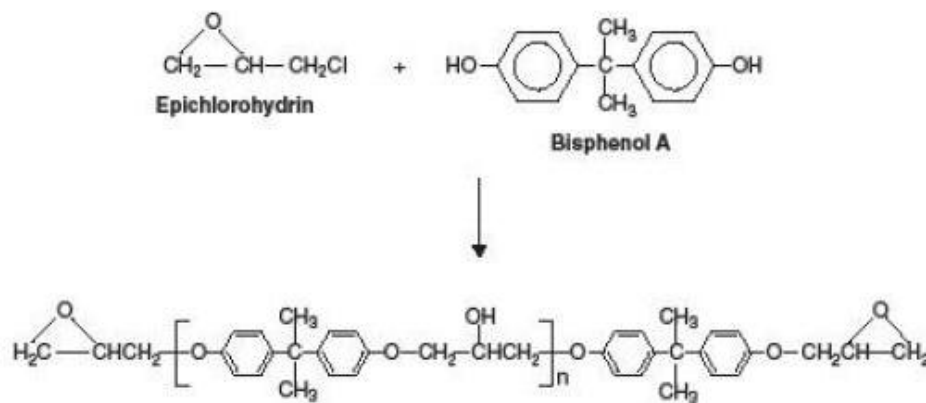
Ylivoimaisesti käytetyin hartsimuoto piirilevyteollisuudessa on epoksi. Epoksihartsilla on monia erilaisia muotoja, joista saadaan erilaisia ominaisuuksia piirilevyille.

Epoksihartsi tarjoaa hyvät elektroniset, mekaaniset ja fyysiset ominaisuudet suhteellisen alhaisilla kustannuksilla verrattuna muihin hartsimuotoihin. (Coombs 2008a, 7.1.)

Hartsin valmistuksen yhteydessä puhutaan useasti hartsin kovettumisasteesta. Kovettumisasteella tarkoitetaan sitä, miten hyvin hartsin valmistuksessa käytettävät ainesosat ovat sitoutuneet toisiinsa. Hartsi saa ominaisuutensa sen mukaan, kuinka hyvin ainesosat pystyvät sitoutumaan toisiinsa. Kun suurin osa valmistusaineista on sitoutunut toisiinsa, hartsilla on silloin täydellinen kovettumisaste. Hartsilla, jolla on täydellinen kovettumisaste, on parhaat fyysiset ominaisuudet. (Coombs 2008a, 6.10.)

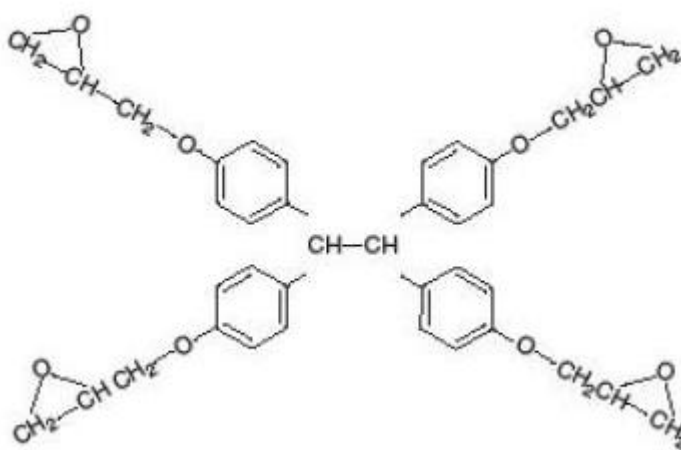
Materiaalit, joilla ei ole täydellistä kovettumisastetta, voivat aiheuttaa ongelmia piirilevyn valmistusprosessin yhteydessä. Piirilevyn reikien porauksen yhteydessä huonosti kovettuneen hartsin takia reikiin voi jäädä likaa. Tämä johtuu huonosti kovettuneen hartsin alhaisemmasta lasittumislämpötilasta. Hartsi altistuu porauksen yhteydessä syntyvälle lämmölle, minkä takia hartsi pääsee pehmenemään liikaa. Pehmenemisen takia seinämiin voi jäädä likaa. Jos likaa ei poisteta kokonaan, voi reikiin tulevaan kuparointiin syntyä katkoksia. Myös z-akselin suuntainen laajentuminen on suurempaa huonosti kovettuneilla hartseilla. (Coombs 2008a, 6.11.)

Epoksihartsia valmistetaan kemiallisella prosessilla, jossa epichlorohyrdin ja bisphenol A reagoivat keskenään. Reaktion yhteydessä bisphenol A brominoituu, mistä epoksihartsi saa palamisen suojansa. Kuviossa 5 esitetään epoksihartsin kemiallinen valmistusreaktio. Epoksihartsin ominaisuudet riippuvat sen molekyylipainosta ja kovettumista parantavista aineista, joita on käytetty valmistuksessa. Molekyylipaino riippuu siitä, kuinka monta epoksiryhmää molekyylin sisällä on. Epoksihartseja, joissa on kaksi epoksi ryhmää molekyylin sisällä, kutsutaan difunktionaaliseksi epokseiksi. Näillä epoksihartseilla on suhteellisen alhainen lasittumislämpötila, joka on alle 120 °C, ja niitä käytetään yksinkertaisissa sovelluksissa, kuten yksipuoleisissa piirilevyissä. (Coombs 2008a, 7.1 -7.3.)



KUVIO 5. Difunktionaalisen epoksihartsin kemiallinen valmistus reaktio (Coombs 2001b, 7.2).

Tetrafunktionaalisisissa ja multifunktionaalisisissa epoksihartseissa on molekyylin sisällä enemmän kuin kaksi epoksi ryhmää, mikä aiheuttaa suuremman kovuuden hartsia kovetettaessa. Näillä epoksihartseilla on hyvät termiset ja fyysiset ominaisuudet. Valmistuksen yhteydessä käytetyt kovettamisprosessit vaikuttavat materiaalin ominaisuuksiin. Paremmat termiset ominaisuudet omaavat epoksihartsit voivat olla erittäin kovia ja hauraita ja voivat vaatia niiden käsittelyyn erikoismenetelmiä. Näiden epoksihartsien lasittumislämpötilat vaihtelevat 130 °C:sta 190 °C:een. Kuviossa 6 on tetrafunktionaalisen epoksihartsin rakennekaava. (Coombs 2008a, 7.4.)



KUVIO 6. Tetrafunktionaalisen epoksihartsin rakennekaava (Coombs 2001b, 7.4).

Epoksihartseilla on hinta-suorituskyky suhde, jota on tarkkailtava materiaalia valittaessa. Yleisesti paremmat termiset ominaisuudet tarjoava epoksihartsi on kalliimpaa, ja se voi myös johtaa kohonneisiin valmistuskustannuksiin kasvaneena monikerros-piirilevyn prässäysaikana ja reikien porauksen hidastumisena. Näitä seikkoja on tarkasteltava, kun mietitään minkälaista suorituskykyä sovellus vaatii. (Coombs 2008a, 7.4.)

Muitakin hartsimuotoja on tarjolla. Muut hartsimuodot tarjoavat piirilevyjen suunnittelijoille ja valmistajille erilaisia ominaisuuksia. Näiden muiden hartsimuotojen heikkoutena on hinta. Suunnittelijoiden ja valmistajien täytyy miettiä, minkälaista suorituskykyä he haluavat piirilevyltä. Näillä hartsimuodoilla on suuri hinta-suorituskyky-suhde, joka johtuu hartsimuodon materiaalien hinnasta ja niiden vaikeasta käsiteltävyydestä. (Coombs 2008a, 7.5.)

Epoksihartsisekoitteet ovat hartsimuoto, joissa on käytetty epoksia, johon on sekoitettu jotain muuta ainetta. Näitä hartseja käytetään, kun tavanomaisen epoksihartsin tarjoama lasittumislämpötila T_g ja hajoamislämpötila T_d eivät riitä. Myös elektronisten ominaisuuksien, kuten permittiivisyyden ja häviökertoimen, parantaminen on yksi päämääristä, johon pyritään. Näihin sekoituksiin kuuluu epoxy-polyphenylene oxide (PPO), epoxy-cyanate ester tai epoxy isocyanurate. Näitä hartseja käsiteltäessä joudutaan piirilevyn valmistusprosessissa tekemään muutoksia ja enemmän töitä, mutta kuitenkin vähemmän kuin muissa suurta suorituskykyä tarjoavissa hartsimuodoissa. Käyttötarkoituksia näillä harteilla on yleensä suuri taajuudelliset kohteet, kuten antennit, radiotaajuus (RF), langattoman kommunikoinnin laitteet ja suuri taajuudelliset tietotekniset sovellukset. (Coombs 2008a, 7.5.)

Bismaleimide Triazine (BT) / epoksi sekoituksella on hyvä lasittumislämpötila, noin 180 °C:sta 220 °C:een ja sillä on muutenkin hyvät ominaisuudet kaikilla alueilla. BT / epoksia käytetään yleensä monikerrospiirilevyissä, joissa käytetään erittäin tiheä jalkaisia komponentteja. Haittapuolena tällä hartsilla on sen hinta. Mitä enemmän sekoitus sisältää BT:tä, sitä kalliimpaa materiaali on. Sekoitus on myös melko haurasta ja

kosteuden imeytyminen voi olla suurempaa kuin muilla hartseilla. (Coombs 2008a, 7.6.)

Cyanate Ester (syanaatti esteri) hartsimuodolla saavutetaan erittäin suuri lasittumislämpötila, noin 250 °C. Hartsilla on vielä erittäin hyvät elektroniset ja termiset ominaisuudet. Kalliin hintansa takia hartsia ei käytetä kuin aivan huipputeknologiaa käyttävissä sovelluksissa. (Coombs 2008a, 7.6.)

Polyimidi on hartsimuoto, joka tarjoaa erityisen hyvät termiset ominaisuudet. Lasittumislämpötilat ovat 220 °C – 260 °C ja hajoamislämpötilat jopa yli 400 °C. Suuret arvot näissä kahdessa ominaisuudessa takaa myös pienen z-akselin suuntaisen laajentumisen. Polyimidiä käytetään yleensä avaruus- ja ilmailusovelluksissa, sotateollisuuden käyttökohteissa ja kaikkialla, missä tarvitaan erittäin hyvää termistä kestävyyttä. Tämänkin hartsimuodon ongelma on sen hinta ja vaikea työstäminen. (Coombs 2008a, 7.6.)

Polytetrafluoroethylene (PTFE, Teflon)-tyyppinen hartsimuoto on erittäin kallis ja vaikeatyösteinen. Tällä hartsimuodolla on erinomaiset elektroniset ominaisuudet. Näitä materiaaleja käytetään yleensä monikerrospiirilevyissä, johon on sekoitettu muita materiaaleja mukaan tuomaan tarvittaville kerroksille tarvittavat ominaisuudet. (Coombs 2008a, 7.7.)

Polyphenylene Ether (PPE) tarjoaa erinomaiset elektroniset ja termiset ominaisuudet. PPE on helpompi työstää piirilevyprosessissa kuin muita korkeaa suorituskykyä tarjoavia hartsimuotoja, ja PPE:tä käytetään paljon radiotaajuussovelluksissa ja langattomassa tiedonsiirrossa. (Coombs 2008a, 7.7.)

Lisäaineita käytetään yleensä hartsin seassa jotakin ominaisuutta tehostamassa tai hartsin kovettumista parantamassa. Yleisimmät lisäaineet ovat hartsin kovetusta nopeuttavia tai palamisen suojaavia lisäaineita.

Hartsimuodot koostuvat orgaanisista osista ja valmistuksen yhteydessä ne reagoivat toistensa kanssa synnyttäen vahvat sidokset toisiinsa. Näitä sidoksia vahventavia lisäaineita käytetään yleisesti. Hartsimuoto vaikuttaa suuresti kun valitaan vahventamislisäainetta. Amiini -pohjaisia kovetus aineita käytetään kun valmistetaan epoksihartsia. Osaa kovettajista voidaan käyttää huoneenlämmössä, mutta jotkut vaativat korkeamman lämpötilan toimiakseen. Yleisin epoksihartsin valmistuksessa käytetyistä amiineista on dicyandiamide joka tunnetaan myös lyhenteellä ”dicy”. Dicyn rinnalle on kehitetty ns. ei-dicy muoto, joka nopeuttaa kovettumista, vähentää kosteuden imeytymistä ja parantaa termisiä ominaisuuksia. (Coombs 2008a, 7.7.)

Piirilevyjen palamisen estolle on kiinnitetty enemmissä määrin huomiota nykyaikana. Tietyillä lisäaineilla voidaan parantaa piirilevyn palamisen suojaa. Polybromibifenyylit ja polybromibifenyylieetterit kuuluvat lisäaineitten joukkoon, joilla parannetaan palamisen estoa, mutta ne ovat kielletty RoHS:ssa niiden myrkyllisyyden takia. Yleisin tapa suojata epoksihartsi palamiselta on käyttää sen valmistuksessa tetrabromobisphenyl A:ta (TBBPA) joka sisältää bromia. Epoksihartsin altistuessa kuumuudelle bromi vapautuu ja hidastaa palamista. Muita vaihtoehtoja palamisen estoa parannettaessa ovat fosfori peräiset yhdisteet, typpi pohjaiset yhdisteet, ei-orgaaniset yhdisteet ja hydraatti pitoiset lisäaineet. (Coombs 2008a, 7.9 – 7.11.)

Piirilevyjä voidaan suojata palamiselta kahdella eri tapaa. Palaminen ilmiönä vaatii jonkin palamisen lähteen, jotta palaminen onnistuu. Solid phase inhibition (kiinteämuotoinen estäminen) pyrkii estämään palamisen tarvitsemien lisälähteiden syntymisen. Menetelmiä on monenlaisia, kuten palavan aineen pinnan päälle muodostuva suojaava tuhkerkerros tai materiaalin kuumetessa se vapauttaa vettä, joka viilentää palavan materiaalin pintaa vaikeuttaen sen palamista. (Coombs 2008a, 7.10.)

Toinen tapa on vapor phase inhibition (kaasumuotoinen estäminen). Tämä menetelmä vapauttaa palavasta materiaalista kaasuja, jotka reagoivat palamisen yhteydessä lähteen energian määrää, jota tarvitaan palamisen ylläpitämiseksi. (Coombs 2008a, 7.10.)

Jotkin hartsit imee itseensä luonnostaan ultraviolettia säteilyä, jotkin taas eivät. Tämä ominaisuus on tärkeä kahdella tapaa. Automaattiset optiset tarkastuslaitteet käyttävät hyvin usein UV-valoa hyväkseen tarkastaessaan piirilevyn pintaa. Kun piirilevy imee itseensä hyvin UV-valoa, AOI-laitteet pystyvät erottamaan johdinkuvion eristemateriaalista. Toinen asia on johdinkuvion valottaminen ohuille materiaaleille. UV-valolla valotetaan johdinkuviot ensin toiselle puolelle piirilevyä ja sen jälkeen toiselle puolelle. Jos piirilevy materiaali ei ime UV-valoa itseensä, voi ohuissa piirilevyissä käydä niin, että johdinkuviot monistuvat myös piirilevyn väärälle puolelle. Hartsimuodon UV-valon imeytymiseen voidaan vaikuttaa sen valmistusvaiheessa lisäämällä siihen tiettyä UV-valon imeytymistä edistävää lisäainetta. (Coombs 2008a, 7.12.)

3.2.3 Vahvikkeet

Vahvikemateriaalit ovat piirilevyn runko. Niiden ympärille rakennetaan kaikki muut piirilevyn osat. Vahvikkeet antavat, materiaalista riippuen, piirilevyille mekaanista kestävyyttä ja elektronisia sekä kemiallisia ominaisuuksia. Vahvikemateriaaleista suosituin on kudottu lasikuitu.

Suuren suosionsa takia kudotusta lasikuidusta on kehitetty erilaisia versioita. Lasikuidun mekaaniset, kemialliset ja elektroniset ominaisuudet muotoutuvat siihen käytettyjen valmistusaineiden ja niiden pitoisuuksien mukaan. Taulukossa 3 on muutamien lasikuituluokan valmistusmateriaalit ja niiden pitoisuudet prosentteina. (Coombs 2008a, 7.12.)

TAULUKKO 3. Kudotun lasikuidun eri luokkien koostumukset prosentteina (Coombs 2008a, 7.12).

Aine	E-luokka	NE-luokka	S-luokka	D-luokka
Pii dioksidi	52-56	52-56	64-66	72-75
Kalkki oksidi	16-25	0-10	0-0.3	0-1
Alumiini oksidi	12-16	10-15	24-26	0-1

Boori oksidi	5-10	15-20		21-24
Kalium oksidi ja natrium oksidi	0-2	0-1	0-0.3	0-4
Magnesium oksidi	0-5	0-5	9-11	
Rauta oksidi	0.05-0.4	0-0.3	0-0.3	0.3
Titaani oksidi	0-0.8	0.5-5		
Fluoridit	0-1			

Yleisin piirilevymateriaalina käytetty kudottu lasikuituluokka on E-luokka. E-luokalla on hyvät mekaaniset, elektroniset ja kemialliset ominaisuudet sekä alhainen hinta. NE-luokka on kalliimpaa, mutta sillä on parannetut elektroniset ominaisuudet. S-luokka tarjoaa parempaa kestävyyttä, mutta sitä on vaikeampi työstää piirilevyn valmistuksessa. (Coombs 2008a, 7.13.)

Kudotut lasikuidut kudotaan ohuista lasikuitu langoista, joiden halkaisija vaihtelee 3.5 µm – 13 µm. Yhdistämällä ohuita lasikuitu lankoja voidaan valmistaa erilaisia lasikuitutyylejä. Myös kutomistyylejä on monia, mutta kaikista suosituin on palttina. Palttina kudoksessa langat vuorottelevat ylityksissä, eli lanka menee joka toisesta yli ja joka toisesta ali. Tämä kudostyyli on helpoin valmistaa ja erittäin kestävä. Valmiin lasikuitukudoksen päälle sivellään lasikuidun ja hartsin välistä sidosta parantavaan viimeistelyainetta. (Coombs 2008a, 7.14.)

Vaihtoehtoja kudotulle lasikuidulle on olemassa. Näitä materiaaleja käytetään erikoisominaisuuksien tai kustannustehokkuuden takia erikoissovelluksissa:

- Lasikuitu, jonka valmistukseen on käytetty 2-5 cm pituisia lasikuidun säikeitä. Säikeet ovat aseteltu satunnaiseen järjestykseen. Tämän muotoista lasikuitua käytetään CEM-3 ytimessä ja yleensä yksinkertaisissa sovelluksissa. (Coombs 2008a, 7.14.)
- Aramidikuitu on orgaaninen aromaattinen polyamidiyhdiste, jolla on erilaiset ominaisuudet kuin lasikuidulla. Aramidia käytetään vaativissa sovelluksissa,

erityisesti sovelluksissa, joissa käytetään sokeita reikiä, koska aramidia on helppo työstää plasmalla tai laserilla. Muita ominaisuuksia aramidilla on alhainen paino, hyvä kestävyys ja negatiivinen termien laajeneminen. Tunnetuin aramidi sovellus on Du'pont yhtiön kehittämä Kelvar. (Coombs 2008a, 7.14.)

- Selluloosapohjaiset paperit ovat olleet käytössä piirilevyateriaaleissa jo pitkään. Paperipohjaiset vahvikkeet ovat edullisia ja mahdollistavat helpon reikien valmistuksen lyömällä porauksen sijaan. Paperipohjaisia vahvikkeita käytetään FR-2, FR-3 ja CEM-1 luokissa. (Coombs 2008a, 7.14.)

3.2.4 Johdin materiaalit

Piirilevyn yksistä pääosista on johdinkuvio. Johdinkuviot on valmistettu melkein mistä tahansa metallista, jota voidaan käyttää piirilevyn valmistusprosessissa. Piirilevyn johdinkuvio materiaalina käytetäänkin metalleja, joilla on hyvä sähköjohtavuus ja hyvät fyysiset ominaisuudet. Hopealla on paras sähköjohtavuus käytettävissä olevista metalleista, mutta sen käyttö ei ole järkevää sen kalliin hinnan vuoksi. Piirilevyteollisuus onkin päätenyt käyttämään kuparia, joka tarjoaa hyvät sähköiset ja fyysiset ominaisuudet. Vaihtoehto kuparille on alumiini, joka on erittäin kevyttä ja hyvä sovelluksiin, joissa vaaditaan keveyttä, mutta sen sähköjohtavuus on paljon pienempi kuin kuparin. Kuparista on kehitelty monia eri versioita. Kuparikalvo luokat on listattu taulukossa 4. Kuusi ensimmäistä kuparikalvoa kuuluu sähkösaostamalla valmistettuihin, seuraavat neljä valssaamalla ja takomalla valmistettuihin kuparikalvoihin ja viimeisenä nikkelistä valmistettu kalvo. (Coombs 2008a, 7.18.)

TAULUKKO 4. Kuparikalvojen luokat (Coombs 2008a, 7.18).

Luokka	Nimike	Kuvaus	Suomennos
1	STD - type E	Standard electrodeposited	Tavallinen sähkösaostettu
2	HD - type E	High-ductility electrodeposited	Hyvin taipuisa sähkösaostettu
3	HTE - type E	High temperature elongation electrodeposited	
4	ANN - type E	Annealed electrodeposited	Lämpökäsitelty sähkösaostettu
10	LTA - type E	Electrodeposited low temperature annealable	Sähkösaostettu, laminoitaessa pehmenevä
11	A - type E	Electrodeposited annealable	
5	AR - type W	As rolled-wrought	Valssattu-taottu
6	LCR - type W	Light cold rolled-wrought	
7	ANN- type W	Annealed wrought	Lämpökäsitelty taottu
8	LTA - type W	As rolled-wrought low temperature annealable	Valssattu-taottu, laminoitaessa pehmenevä
9		Nickel, electrodeposited	Nikkeli, sähkösaostettu

Kuparilla on erittäin hyvät ominaisuudet toimia piirilevyllä johtimena. Kuparilla on hyvät sähkön- ja lämmönjohtavuus ominaisuudet, jotka ovat haluttuja ominaisuuksia piirilevyllä. Kuparilla on myös hyvät kemialliset ominaisuudet, joiden vuoksi sitä on helppo työstää piirilevyn valmistusprosessin eri vaiheissa. Kuparista valmistetut kalvot jaetaan kahteen eri ryhmään valmistustapojen mukaan: sähkösaostetut (electrodeposited) ja taotut/valssatut (wrought/rolled). (Coombs 2008a, 7.18.)

Sähkösaostettua kuparikalvoa valmistetaan kemiallisella prosessilla, jossa kuparia kasvatetaan elektrolyyttiliuoksessa pyörivään rummun päälle. Tuloksena tästä prosessista on kuparikalvo, jolla on sileä pintainen (rummun puoli) puoli ja matta (liuoksen

puoli) puoli. Kuparikalvon ominaisuuksia voidaan muuttaa muuttamalla valmistusprosessissa käytettyjen liuosten kemialla. Näin voidaan saada kalvolle parempi kestävyys, pienempi venymä tai mattapuolen parempi profiili. (Coombs 2008a, 7.19.)

Sähkösaostamalla valmistetuista kalvoista suosituimpia piirilevyteollisuudessa ovat luokat yksi ja kolme. Luokkaa yksi käytetään normaaleissa ja yksinkertaisissa piirilevysovelluksissa, eikä sillä ole mitään mainitsevan arvoista erikoisominaisuutta. Luokkaa kolme käytetään monikerrospiirilevysovelluksissa, koska se käyttäytyy korkeammissa lämpötiloissa erittäin hyvin. Se saavuttaa hyvän taipuisuuden korkeammassa lämpötilassa, josta on hyötyä silloin kun piirilevy joutuu termisen rasituksen alaiseksi. Tämä estää kuparikalvon halkeilemista z-akselin laajentuessa lämmön nousun vuoksi. (Coombs 2008a, 7.20.)

Myös kuparikalvon mattapuolen profiili on tärkeä piirilevyn valmistuksessa. Rosoisempi matta puoli auttaa kuparin ja hartsin välisessä kiinnittymisessä tehden siitä kovemman. Toisaalta rosoisempi matta puoli voi vaatia pidempiä valmistusaikoja vaikuttaen tuottavuuteen. Rosoisempi matta puoli ei myöskään sovellu korkea taajuisille sovelluksille, koska signaalit alkavat kulkea johtimen ulkoreunaa pitkin korkeilla taajuuksilla. Tämä voi johtaa signaalien vääristymiseen tai virhetoimintoihin. Sähkösaostamalla valmistettu kuparikalvo on edullista valmistaa. Varsinkin ohuet kuparikalvot ovat edullisia valmistaa, koska kupari kasvatetaan, eikä sitä valssata kuten taotuisa/valssatuissa kuparikalvoissa. (Coombs 2008a, 7.18 – 7.20.)

Sähkösaostetun kuparikalvon valmistuksessa voidaan myös käyttää pintakäsittelymenetelmiä. Näitä menetelmiä käytetään yleensä kalvon matalla puolella. (Coombs 2008a, 7.21.)

- Sidosta parantava käsittely parantaa hartsin ja kuparikalvon välistä sidosta. Käsittelyssä kuparikalvon matalle puolelle lisätään kuparia tai kuparioksidinystyröitä, jolloin kuparin tarttuva pinta-ala kasvaa parantaen sidosta. (Coombs 2008a, 7.22.)

- Termiset suojat lisätään yleensä nystyröiden päälle suojaamaan hartsin ja kuparikalvon välistä sidosta piirilevyn valmistuksen aikana. Suojaavana materiaalina voidaan käyttää sinkkiä, nikkeliä tai messinkiä. Suojauksen paksuun on vain 1 -10 nm, ja niiden värit vaihtelevat materiaalista riippuen. (Coombs 2008a, 7.22.)
- Hapettumisen suojaus lisätään aina kuparikalvon molemmille puolille kuparin hapettumisen estämiseksi laminoinnin ja säilytyksen aikana. Suojaukset ovat yleensä kromi pohjaisia, mutta myös orgaanisia päällysteitä käytetään. Suojauksen paksuus on alle 1 nm, ja se häviää piirilevyn valmistusprosessin aikana. (Coombs 2008a, 7.22.)
- Liitää parantavat aineet, yleensä silaani, parantavat kuparin ja hartsin kemiallista sidosta ja suojaavat kuparia myös hapettumiselta ja pilaantumiselta. (Coombs 2008a, 7.22.)

Sähkösaostamalla valmistetuista kuparikalvoista on kehitetty kalvoja, joissa pintakäsittelyt tehdään kalvon sileälle puolelle. Drum Side Treated Foil (DSTFoil) ja Reverse Treated Foil (RTF) ovat kehitettyjä kuparikalvoja, jotka ovat valmistettu tällä menetelmällä. Menetelmä mahdollistaa kuparikalvon sileän puolen kiinnittämisen laminaattiin, jolloin karhea mattapuoli on ulospäin suunnattu. Tämä hyödyttää kun valmistetaan ohuita johdinkuvioita. Rosoisempi matta puoli auttaa valotuksen kiinnitymisessä. Kuparikalvon matala profiili auttaa myös sovelluksissa, joissa korkeataajuiset signaalit kulkevat johtimen ulkopinnoilla. Haittana on huonontunut kiinnitys pysyvyys hartsissa. (Coombs 2008a, 7.23.)

Valssattu/taottu kuparikalvo valmistetaan päinvastaisesti kuin sähkösaostettu. Tässä menetelmässä kuparilevyä aletaan valssata rullien välistä halutun paksuuden saavuttamiseksi. Tällä tavoin pystytään valmistamaan kuparikalvoa suhteellisen edullisesti aina 18 µm asti. Taottu/valssattu kuparikalvo eroaa sähkösaostetusta sen erinomaisten mekaanisten ominaisuuksien osalta. Taottu/valssattu kuparikalvo on erittäin taipuisaa, ja sitä käytetään yleisesti flex- piirilevyn johdinmateriaalina. Taotulla/valssatulla

kuparikalvolla on myös kaksi erittäin matalaprofiilista puolta, joten sitä joudutaan käsittelemään pintakäsittelyaineilla hartsiin tarttumisen parantamiseksi. (Coombs 2008a, 7.24.)

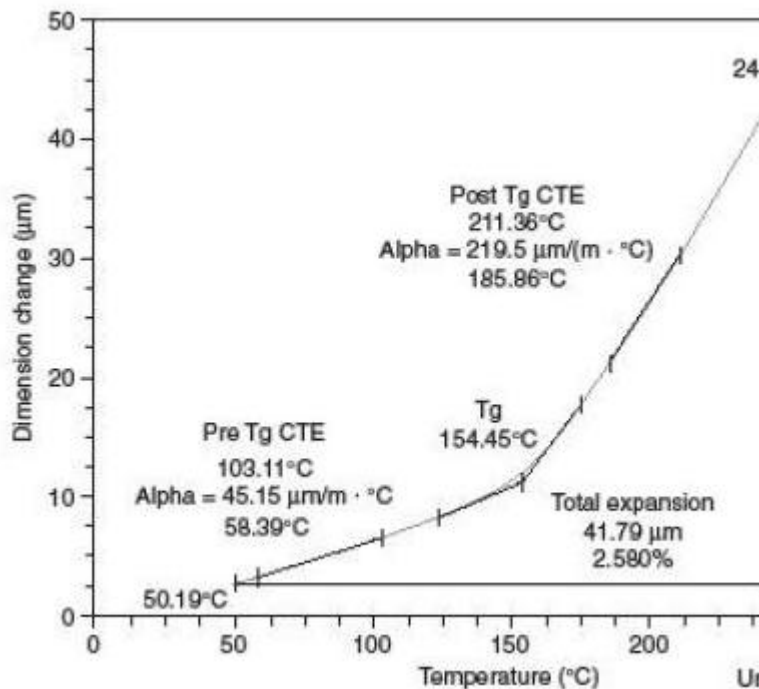
3.3 Materiaalien ominaisuudet

Piirilevyn eri ominaisuudet johtuvat piirilevyihin käytetyistä materiaaleista ja niiden valmistuksessa käytetyistä lisäaineista sekä prosesseista. Nämä ominaisuudet kiinnostavat suunnittelijoita sekä valmistajia. Piirilevyn ominaisuudet voidaan jaotella karkeasti kolmeen eri ryhmään: elektronisiin, termisiin ja fyysisiin ominaisuuksiin.

3.3.1 Termiset ominaisuudet

Lasittumislämpötila T_g on lämpötila, jossa materiaalin hartsimuoto alkaa muuttua kovasta tilasta paljon muokattavampaan pehmenneeseen tilaan. Kun materiaali on kuumennettu yli lasittumislämpötilansa ja viilennetty takaisin lasittumislämpötilan alle, materiaali palaa takaisin kovettuneeseen tilaan, ja sillä on samat ominaisuudet, jotka sillä oli ennen lämmittämistä. Materiaali ei ole nestemäisessä muodossa kun se on lämmitetty yli lasittumislämpötilan, vaan pehmenneessä muodossa jolloin sitä on helpompi muokata. Lasittumislämpötila vaikuttaa myös lämpölaajentumiseen ja hartsin kovettumisasteeseen. (Coombs 2008a, 6.9.)

Lasittumislämpötilan ja lämpölaajenemiskertoimen (CTE) voi määrittää käyttämällä termomekaanista analyysiä (TMA). Kuviossa 7 on määritelty FR-4 materiaalille lämpölaajenemiskertoimet ennen lasittumislämpötilaa ja sen jälkeen. Tuloksista voidaan huomata, että lämpölaajeneminen on suurempaa lasittumislämpötilan ohittamisen jälkeen. (Coombs 2008a, 8.2.)



KUVIO 7. Lasittumislämpötilan ja lämpölaajenemiskertoimien määrittäminen FR-4 materiaalille käyttäen termomekaanista analyysiä (Coombs 2001b, 8,2).

Lämpölaajentuminen on erittäin tärkeä ominaisuus piirilevyille. Lämpölaajentumisella tarkoitetaan materiaalin fyysisten ulottuvuuksien muutosta lämpötilan muutosta kohtaan. Piirilevyillä lämpölaajeneminen on vähäisenpää lämpötilan ollessa alle lasittumislämpötilan ja suurempaa sen yläpuolella. Lasikuitu vahvikkeisissa materiaaleissa lämpölaajeneminen on suurempaa eri akseleilla, mikä johtuu lasikuituun kutomis-suunnasta. (Coombs 2008a, 6.10.)

Lämpölaajentumista käsitellään x/y-akseleilla ja z-akselilla. Z-akselilla tapahtuva laajentuminen on hyvin tärkeää piirilevyn luotettavuuden kannalta. Piirilevyyn tehdyt reiät, jotka on metalloitu, voivat halkeilla z-akselin suuntaisen lämpölaajenemisen myötä. Vaara halkeilulle kasvaa mitä useammin piirilevy altistetaan suurille lämpövaihteluille. X/Y-akselin lämpölaajentuminen on tärkeää komponenttien asennuksen yhteydessä ja monikerrospiirilevy sovelluksissa, joissa käytetään erilaisia materiaaleja. Komponenttien asennuksen yhteydessä, varsinkin komponenttien, joilla on erittäin tiheät pinnit, x/y-suuntainen lämpölaajentuminen on huomioitava. Piirilevyn käydessä

läpi monia juotoskertoja voi komponenttien ja piirilevyn välinen sidos alkaa heikentyä. Monikerrospiirilevy sovelluksissa, joissa on käytetty materiaaleja, joilla on erilaiset laajenemisominaisuudet, voivat aiheuttaa kerrosten välisille sidoksille räsitusta tai jopa erkanemista. (Coombs 2008a, 8.2.)

Piirilevymateriaaleille on laskettu lämpölaajenemiskerroin (coefficients of thermal expansion, CTE). Näitä kertoimia hyväksi käyttäen voidaan ennustaa, miten materiaali käyttäytyy, kun se altistetaan suurille lämpötiloille. Lämpölaajenemiskertoimia voidaan mitata käyttämällä termokemiallista analyysia. Analyysissä käytetään laitetta, joka vertaa näytteen laajenemista lämpötilaa kohtaan. Laitteella voidaan mitata joko x/y-akselin kertoimia tai z-akselin kertoimia. Taulukossa 5 on muutaman piirilevy materiaalin x/y- sekä z-akselin lämpölaajenemiskertoimet. (Coombs 2008a, 8.1.)

TAULUKKO 5. Materiaalien lämpölaajenemiskertoimia (Coombs 2008a, 8.3).

Materiaali	T _g (°C)	T _d (°C)	Z-akseli (%)	X/Y-akseli (µm/°C)
FR-4. epoksi	140	315	4,5	13-16
Suuri T _g , FR-4, epoksi	175	305	3,5	13-16
BT/epoksi sekoitus	190	320	3,3	14-16
PPO/epoksi sekoitus	175	345	3,8	15-16
Syanaatti esterit	245	375	2,5	11-13
Polyimidi	260	415	1,8	12-16

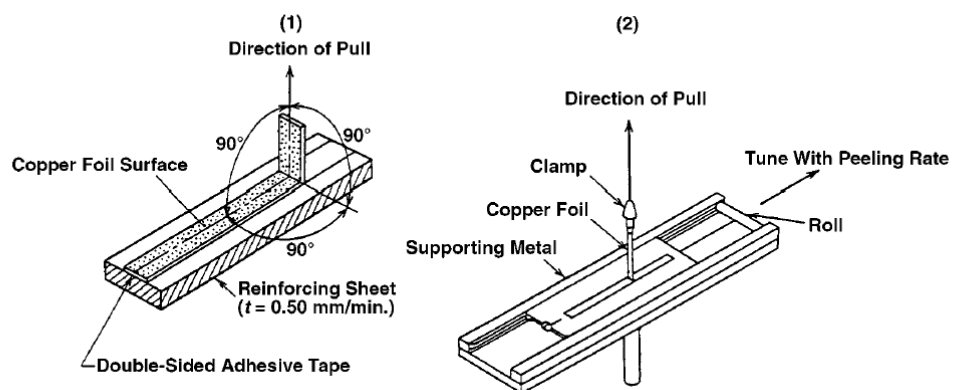
Lämpölaajenemisen kontrolloimisessa tärkeää on materiaalin koostumus. Hartsilla on huomattavasti suurempi lämpölaajenemiskerroin kuin vahvikkeilla, joten sitä tulee huomioida erityisesti. Hartsimuodon lasittumislämpötila ja hartsin määrän suhde piirilevyn muihin osiin vaikuttaa myös lämpölaajenemisen kontrollointiin. Taulukosta 5 voidaan todeta, että lasittumislämpötilan noustessa lämpölaajeneminen pienenee. (Coombs 2008a, 8.3.)

Hajoamislämpötila (T_d) kuvaa lämpötilaa, jossa materiaalin kemialliset sidokset alkavat hajota ja materiaali alkaa menettää painoaan. Hajoamislämpötila kuvaa sitä lämpötilaa, kun materiaali on menettänyt viisi prosenttia painostaan. Piirilevyn luotettavuutta tarkasteltaessa viiden painoprosentin menetys on erittäin merkittävää. Keski-verta FR-4 materiaalilla on T_g noin 140 °C ja T_d noin 320 °C. Tyypillinen lyijyttömän piirilevyn valmistuksen vaatima lämpötila on noin 240 °C – 270 °C. Keski-verta FR-4:n hajoamislämpötila on suurempi kuin lyijyttömän piirilevyn vaatima valmistuslämpötila, mutta keski-verta FR-4 voi menettää 1 – 3 % painostaan lyijyttömän piirilevyn valmistuksen vaatimassa lämpötilassa. Tämä voi vaarantaa piirilevyn pitkäaikaisen luotettavuuden, varsinkin jos piirilevyn kokoamisvaiheessa piirilevyllä on useita juotoskertoja. (Coombs 2008a, 8.5.)

Time to delamination -arvo on tietyllä testillä saatu aika, joka kuvaa materiaalin kykyä vastustaa kupruilemista ja perusosien liitosten hajoamista. Näitä testejä on T266, T280 ja T300. Testeissä materiaalista otettu näyte laitetaan termokemialliseen analysaattoriin, jossa näyte lämmitetään 266 °C, 280 °C tai 300 °C, ja mitataan aika kuinka pitkään materiaali pystyy vastustamaan hajoamista. (Coombs 2008a, 8.6.)

3.3.2 Fyysiset ominaisuudet

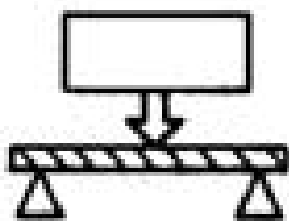
Kuparin kuorintalujuus testi on yleisin tapa selvittää, miten hyvä sidos kuparikalvon ja laminaatin välillä on. Kuparin kuorintalujuutta testataan eri olosuhteissa, kuten termisen rasituksen jälkeen, korkeammassa lämpötilassa ja kemiallisille aineille altistumisen jälkeen. Testattavat kohteet tulisi olla ainakin 0.8 mm leveitä, kun testataan kemiallisille aineille alistumisen jälkeen ja muille testeille 3.2 mm leveitä. Testattavan kuparikalvon paksuus tulisi olla 35 μm . Testissä kuparia kuoritaan hieman irti laminaatista, ja sen päähän asetetaan mittari, joka mittaa kuparin kuorintalujuuden. Kuviossa 8 esitetään menetelmä, jolla voidaan testata kuparin kuorintalujuutta. (IPC 1999b.)



IPC-5016-13

KUVIO 8. Kuparin kuorintalujuuden testausmenetelmä (IPC 1999b).

Taivutuslujuus on materiaalin kyky kestää tietty määrä kuormaa ilman katkeamista. Taivutuslujuutta voidaan testata kuvion 9 osoittamalla testimenetelmällä asettamalla testattavan piirilevyn päihin tuet ja keskelle kuorma. Ominaisuus voi olla tärkeä, koska nykyaikaiset piirilevy materiaalit kestävät hyvin taipumista, ja niitä voidaan käyttää tuotteessa tukielementteinä. (Coombs 2008a, 8.11.)



KUVIO 9. Taivutuslujuuden testaus (Coombs 2001b, 8.11).

Veden ja kosteuden imeytyminen piirilevy materiaaliin on tärkeä ominaisuus piirilevyn luotettavuuden kannalta. Kosteuden imeytyminen voi aiheuttaa vikoja piirilevyn valmistuksen yhteydessä. Kosteuden imeytymistä testataan upottamalla piirilevymateriaali veteen 24 tunniksi, minkä jälkeen se kuivataan ja sen paino mitataan. Tämän jälkeen materiaali upotetaan veteen uudelleen, minkä jälkeen sen paino mitataan uudelleen. Painoerot mittauksien jälkeen näyttävät, kuinka paljon kosteutta tai vettä materiaaliin voi imeytyä. (Coombs 2008a, 8.11.)

Materiaalin kemiallinen kestävyys testataan melkein samalla tavalla kuin kosteuden imeytyminen. Tässä testissä materiaali upotetaan metyleenikloridiin ja tarkastellaan, kuinka paljon sitä imeytyy materiaaliin. (Coombs 2008a, 8.12.)

3.3.3 Elektroniset ominaisuudet

Piirilevyn dielektrinen vakio kuvaa piirilevyn kykyä toimia eristeenä. Toisin sanoen dielektrinen vakio on materiaalin kyky säilöä sähkövaraus. Piirilevy materiaalien dielektriset vakiot eivät ole vakioita, koska niiden suuruuteen vaikuttavat taajuus, lämpö ja kosteus. Piirilevyn sisältämän hartsin suhde vahvikkeeseen voi myös vaikuttaa dielektriseen vakioon. Piirilevy materiaalien dielektrinen vakio vaihtelee materiaalista ja olosuhteista riippuen välillä 4.7 – 3.5. (Coombs 2008a, 8.13.)

Piirilevyn johdinkuvioiden välissä on eriste osa, joka koostuu hartsimuodosta ja vahvikkeesta. Eristemateriaalilla on häviökerroin, joka kuvaa eristeessä tapahtuvaa tehohäviötä. Piirilevyn häviökertoimeen vaikuttavat taajuus, hartsin määrä, lämpötila ja kosteus. Piirilevy materiaalien häviökertoimet vaihtelevat välillä 0,025 – 0,005. (Coombs 2008a, 8.13.)

4 PIIRILEVYN TUOTANTOPROSESSI

Piirilevyjen valmistus on prosessiteollisuutta, jossa tuotteita valmistetaan jatkuvana prosessina. Piirilevytuotannossa tämä tarkoittaa piirilevyjen etenemistä läpi tuotantovaiheiden jatkuvana virtana. Tämänkaltaisessa tuotannossa kustannustehokkuus, tuotantokapasiteetti ja oikeat tuotteet ovat avainasemassa. Kuviossa 10 on prosessiteollisuuden liittyviä avainasioita. Laitteiden kunnossapito on erittäin tärkeää piirilevyvalmistuksessa. Piirilevyvalmistuksen prosessit voivat olla vaikeita hallita, minkä takia valmistuslaitteiden tulee olla hyvässä kunnossa. Tämä tarkoittaa laitteiden säännöllisiä huoltoja ja kalibrointeja.

Piirilevyvalmistajan asiakkuudet riippuvat mielestäni valmistajan tuotantokapasiteetista, joten valmistajalla tulee olla niin paljon asiakkaita, että tuotantokapasiteetti täyttyy. Tuotteiden hinnoittelulla pystytään kohdistamaan asiakkuudet oikeisiin asiakkaisiin, jotka tilaavat sitä tuotetta, josta saadaan paras kate. Hinnoittelulla vaikutetaan täten myös tuotteiden tarjontaan. Piirilevyjenvalmistajalla tulee olla luotettavat materiaalitoimittajat, jotta valmistusprosessi ei keskeydy materiaalin loppumisen takia. Johtamisella ja tukitoimilla tuetaan ja kehitetään muita painopisteitä. (Tieto 2008.)



KUVIO 10. Prosessiteollisuuden painopisteet (Tieto 2008).

Piirilevyn tuotantoprosessi on erittäin herkkä muutoksille. Melkein jokainen valmistusprosessin työvaihe vaikuttaa toisiin työvaiheisiin. Muutokset työvaiheissa tai työtavoissa voivat johtaa aihion tai jopa koko sarjan vikaantumiseen. Menetelmien ja valmistustapojen pitää olla vakiot hyvän laadun ylläpitämiseksi. Laadun ylläpitämiseksi työvaiheista kerätään tietoja.

Piirilevytuotannossa pyritään kokoajan keräämään tietoja jokaisesta työvaiheesta. Tietoja keräämällä pystytään hallitsemaan valmistusprosessin eri vaiheita ja tietoja tutkimalla voidaan huomata missä työvaiheessa tapahtuu virheitä. Virheitä tekeviin tuotantovaiheisiin pystytään reagoimaan ja täten parantamaan prosessia. Tietoja keräämällä voidaan myös tutkia piirilevyjen valmistuksen läpimenoaikaa, mikä tarkoittaa piirilevyn valmistuksen aloittamisesta piirilevyn valmistumiseen kuluvaan aikaan. Eri työvaiheista saatava tieto näyttää kuinka paljon aikaa kuhunkin työvaiheeseen kuluu. Näin pystytään havaitsemaan prosessin pullonkaulat ja niitä voidaan yrittää kehittää läpimenoajan pienentämiseksi. Tietoja kerätään myös materiaalien käyttäytymisestä, koska piirilevymateriaalit eivät käyttydy aina samalla tavalla, vaan ne elävät prosesseissa. Tietojen kerääminen auttaa ennustamaan materiaalien käyttäytymistä ja ohjaamaan materiaaleista riippuvaisia prosesseja.

Piirilevyt kulkevat valmistusprosessin läpi aihiona. Aihioilla voi olla ns. näkkäreitä, jotka koostuvat kahdesta tai useammasta piirilevystä. Näkkärillä olevat piirilevyt ovat toisissaan kiinni, ja ne voidaan helposti taittaa irti toisistaan. Aihioita käytetään valmistusprosessissa kustannussyistä. Yksittäisen piirilevyn tuottaminen olisi kannattamatonta ja ajan haaskausta. Aihiota käyttämällä pienennetään kustannuksia ja parannetaan piirilevyjen läpimenoaikaa.

Piirilevyn valmistusprosessin aikana piirilevyaihiot käyvät läpi monenlaiset työvaiheet. Piirilevysovelluksesta riippuen piirilevyt käyvät vain osassa työvaiheita. Porauksessa piirilevy saa komponentti-, läpivienti- ja kiinnitysreikänsä ja kuvionsiirrossa piirilevyn johdinkuvio monistetaan piirilevylle, joka sitten syövytetään oikeaan muotoon. Metallointiprosesseissa piirilevyn reiät metalloidaan. Tarkistus ja testaus vaiheessa piirilevyistä etsitään mahdollisia virheitä. Piirilevyjen pintakäsittelyssä piirile-

vyn pinta ja komponenttien kiinnityskohdat suojataan. Työstössä piirilevy saa ulko-
muotonsa. Käyn nämä työvaiheet yksityiskohtaisemmin läpi seuraavissa kappaleissa.

4.1 Valmistelu

Töiden valmistelu on tilauksen tulon jälkeen ensimmäinen merkittävä työvaihe. Tilauksen yhteydessä asiakas toimittaa piirilevystä tiedostot, jotka puretaan valmistelussa minkä jälkeen niistä aletaan valmistella ohjelmia tuotantoa varten. Työn valmistelussa käytetään piirilevyn tuotannolle räätälöityjä CAM-ohjelmistoja, kuten Genesis 2000. Tällaisilla ohjelmistoilla pystytään valmistamaan kaikki piirilevytuotannon työvaiheissa käytetyt ohjelmat. CAM-ohjelmistot tukevat kaikki yleisiä tiedostomuotoja, kuten Gerber, ODB++, DXF ja Excellon sekä monia muita formaatteja. Tämä mahdollistaa erilaisien piirilevy-suunnitteluohjelmistojen käyttävien asiakkaiden palveluksen. (Frontline 2009.)

Töiden valmistelussa tilatusta piirilevystä tehdään aihio, johon tulee tietty määrä piirilevyjä. Tätä kutsutaan paneloimiseksi. Aihiolle voidaan laittaa monen eri tilauksen piirilevyjä, jotta hukkamateriaali olisi mahdollisimman pieni. Tällainen paneli on ns. sekapaneli. Hyvissä CAM-valmisteluohjelmistoissa on myös työkalu, joka optimoi aihion pinta-alan piirilevyille. Näin pystytään säästämään materiaalikuluissa ja pienentämään piirilevyjen läpimenoaikaa. (Frontline 2009.)

Valmistelussa piirilevy tilaukselle suunnitellaan ja tehdään ohjelmat, joita eri työvaiheet tarvitsevat. Työvaiheet, kuten poraus, testaus, tarkastus, kuvionsiirto ja työstö tarvitsevat tietoja piirilevystä. Poraukseen pitää valmistaa ohjelma, jossa on reikien oikeat paikat ja niiden koot. Työstö tarvitsee ohjelmat piirilevyjen jrsinnälle ja urittamiselle. Kuvionsiirto tarvitsee piirilevyn johdinkuviot, maskin avaukset ja mahdolliset taustat ja väliaikaisen juotteenestopinnoiteen tiedot. Valmistelu tulostaa kuvionsiirron tarvitsemat tiedot filmille, joita käytetään kyseisten työvaiheiden kohdalla.

Sähköiselle testaukselle pitää tehdä piirilevystä oma testausohjelma. Testausohjelmassa merkitään testattavat kohteet, yleensä komponenttien kiinnityskohdat, joiden päältä juotosmaski on avattu, metalloidut reiät ja piirilevyn maa-alueet. Ohjelma pitää kääntää testauslaitteen tukemaan formaattiin ennen testauksen aloittamista. Optisille tarkistuslaitteille pitää tehdä ohjelma, jossa on piirilevyn johdinkuvio sekä tarkastettavat alueet johdinkuviosta.

4.2 Poraus

Porauksessa valmistetaan piirilevylle reiät, jotka toimivat kolmella tapaa. Piirilevylle porattu reikä toimii piirilevyn sähköisten yhteyksien reittinä piirilevyn komponenttipuolen, välikerrosten ja juotospuolen välillä. Reikä voi toimia komponenttien kiinnitys kohtana antaen komponentille parempaa tukea. Piirilevyn valmistusprosessissa reikiä voidaan käyttää myös erilaisissa työvaiheissa kohdistusmerkkeinä. Porausmenetelmiä on muutamia erilaisia. Mekaanisessa porauksessa käytetään porausterää, jota pyöritetään paineilmalla. Muita menetelmiä on laser- ja plasmaporaus. Laser- ja plasmaporauksella päästään erittäin pieniin ja tiheisiin reikiin, ja niitä käytetään vain vaativissa sovelluksissa. Tässä työssä keskityn kuitenkin mekaanisen porauksen tutkimiseen. (Coombs 2008a, 24.3.)

Porattujen reikien laatu on erittäin tärkeää piirilevyn valmistuksessa. Reiän laatu tulee vaikuttamaan useaan muuhun työvaiheeseen porauksen jälkeen. Reiän porauksen laatuun vaikuttavat seuraavat tekijät: piirilevyn materiaali, porattavan pakan koostumus, poranterä, porauslaite ja porausparametrit. (Coombs 2008a, 24.3.)

Piirilevymateriaalin koostumus vaikuttaa poraukseen. Vahvikkeena toimivat lasikuitukudokset voivat aiheuttaa ongelmia porauksen yhteydessä. Suuremmat lasikuitusäikeet voivat repeytyä porauksen yhteydessä aiheuttaen koloja tai enemmän epätaisaisuutta reiän seinämiin. Hartsimuodot vaikuttavat poraukseen lähinnä lasittumislämpötilan perusteella. Materiaalit, joilla on korkea lasittumislämpötila, aiheuttava yleensä vähemmän likaa reiän seinämiin, mutta ne ovat myös heikkoja ja voivat han-

kautua helpommin poranterää vasten aiheuttaen enemmän kulumista poranterälle ja epätasaisuutta reiän seinämiin. Piirilevyn johdinkerroksien kuparikalvo vaikuttaa porauksen laatuun. Suurempi kuparikerrosten määrä antaa poraukselle tasaisemman laadun kuin vähäisempi määrä. Porauksen syöttövauhtia tulee kuitenkin tarkkailla monikerrospiirilevyjä poratessa, etteivät välikerrosten johtimet vahingoitu liian nopeasta poraamisesta. (Coombs 2008a, 24.5.)

Piirilevyaihiot pakataan usean aihion paketteihin porattaessa. Pakkojen ulkopinnoille tulee erikoismateriaalit porauslaadun parantamiseksi. Pakan päälle päällysmateriaaliksi tulee yleensä alumiini, melamiini tai näillä päällystettyjä selluloosa tai fenoli levyjä. Päällysmateriaali auttaa poranterän keskittämässä, estää terää hajoamasta ja parantaa porausjälkeä. Pohjamateriaaleja on monia erilaisia, esim. puu mikä on päällystetty alumiinilla, epoksilla, melamiinilla tai uretaanilla, tavallinen puu tai kovalevy. Pohjamateriaalin tarkoituksena on antaa reiän päätökselle hyvä laatu, ehkäistä kuparista syntyvää jäystettä, porauslämmön pienentäminen ja reiän laadun parantaminen. (Coombs 2008a, 24.10.)

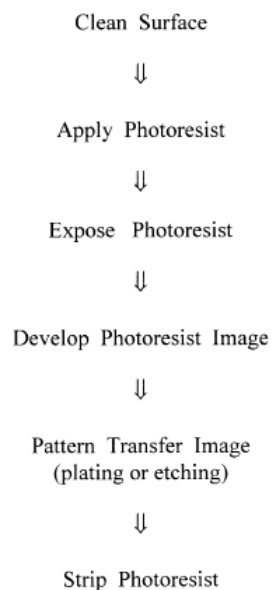
Porauksessa käytettävät terät ovat yleensä valmistettu volframi karbidista, joka on erittäin kovaa metallia ja kestää kulumista hyvin. Poranterän ulkoiset mitat vaikuttavat suuresti porauksen laatuun. Terän pitää olla terävä, jotta se porautuu helposti porattavaan materiaaliin. Terän sivun pinta-ala, joka koskettaa reiän reunaan, aiheuttaa porauksessa lämpöä. Pinta-ala pienentämällä estetään reiän sisäpintojen palaminen tai vähennetään reikään syntyvän lian määrää. Myös poranterän kyky johdattaa porattu aines pois reiästä on tärkeä. Porattu aines voi rikkoa terän tai aiheuttaa reiän seinämille vikoja, jos terä ei kuljeta sitä pois reiästä tehokkaasti. (Coombs 2008a, 24.5.)

Porauslaitteena toimii yleensä CNC-porauslaite, jolla on tehty oma poraohjelma. Porauslaitteessa on yleensä kaksi tai useampia porauspaikkoja, jotta pakkoja voidaan porata monta kerralla. Reikien porauksen laatuun vaikuttaa porauslaitteen kunto. Mekaaniset porauslaitteet käyttävät paineilmaa terien pyörittämiseen. Porauksessa käytettävän paineilman tulee olla puhdasta ja kuivaa. Lian ja kosteuden poistamiseksi laitteessa pitää olla hyvät suodattimet paineilmalle. Lika ja kosteus kuluttavat porauslait-

teen osia, kasvattaen siten kuluja, jotka porauksesta syntyvät. Paineilman paineen tulee olla tarkasti sama jokaiselle porauslaitteen terälle. Eritasoinen tai riittämätön paine voi aiheuttaa vikoja reikiin. Porauksen aikana syntyvän aineksen poistaminen reistä on hyvin tärkeää. Kuuma porausaine on imettävä pois reiästä, ettei se aiheuta kuumuudellaan vikoja reiän seinämiin. Kuumuus aiheuttaa myös nopeutunutta terien kulumista. Porauslaitteen karan toiminta on myös tärkeää. Karan tulee olla puhdas liasta, jotta pyörimisnopeudet pysyvät oikeina ja osien kuluminen pienenee. Karan pyörimisnopeudet tulisi mitata noin puolivuositain. (Coombs 2008a, 24.11 – 24.13.)

4.3 Kuvionsiirto

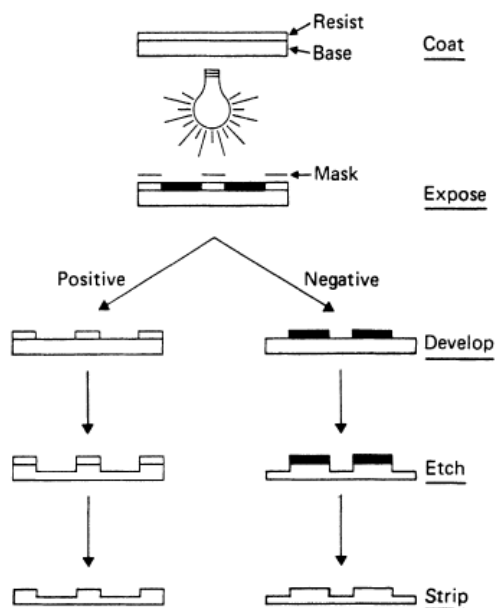
Kuvionsiirto työvaiheessa piirilevyn johdinkuvio ”siirretään” piirilevyn kuparipinnalle valoherkkää resistiä hyväksi käyttäen. Siirtotekniikoita on monia, mutta työssäni käsittelen, piirilevytuotannossa eniten käytettyä tekniikkaa, optista litografiamenetelmää. Kuviossa 11 on optisen litografiaprosessin kulku, jonka käyn läpi tässä kappaleessa.



KUVIO 11. Optisen litografiaprosessin kulku (Coombs 2001b, 26.1).

Valoherkkää resistiä on kahta eri tyyppiä: kuivafilmiä ja nestemäistä. Valittaessa resistiä tulee ottaa huomioon muutamia seikkoja. Resistin täytyy olla yhteensopiva kehityskemikaalien kanssa, jotta resistin tarkkuus pysyy hyvänä. Resistin tulee kestää syövytys ja metallointiprosessit ja sen pitää irrota helposti aihion pinnasta syövytyksen tai metallointiprosessien jälkeen. Kuivafilmi resistit ovat paksuudeltaan 25 – 50 μm , eivätkä ne kykene tarkimpaan valottamiseen. Nestemäisten resistien paksuudet ovat 6 -15 μm ja kykenevät jopa 25 μm valotustarkkuuksiin. (Coombs 2008a, 26.3 – 26.7.)

Kuviossa 12 on esimerkki, miten resisti voidaan valottaa aihiolle. Positiivinen tapa jättää resistin alle piirilevyn johdinkuvion, joka syövytyksen jälkeen näyttäisi ihan valmiilta johdinkuviolta. Negatiivinen tapa jättää maskin alle kaikki eristevälit ja jättää johdinkuvion esiin. Negatiivista tapaa käytetään kun johdinkuville galvanoidaan esimerkiksi metallipinnoitetta. (Coombs 2008a, 26.3.)



KUVIO 12. Positiivinen ja negatiivinen valotustapa (Coombs 2001b, 26.2).

Prosessi alkaa piirilevyaihion pinnan puhdistuksella (clean surface). Pinnan puhdistus tapahtuu ns. puhdistilassa, jossa lian ja pölyn määrä pyritään pitämään mahdollisim-

man pienenä. Puhtaus on eteenkin tärkeää, mitä pienempiin tarkkuuksiin siirrytään. Puhdistuksen yhteydessä piirilevy aihion kuparipintaa käsitellään siten, että siitä tulee karhea. Karheus parantaa resistin kiinnipysyvyyttä kuparipinnassa. Puhdistuksen voi tehdä mekaanisesti harjaamalla tai kemiallisesti liuottimilla tai syövytyskylvyillä. (Coombs 2008a, 26.9.)

Seuraava työvaihe on valoherkän resistin levittäminen aihiolle (apply photoresist). Resistin levittämiseksi on monia erilaisia tekniikoita. Kuivafilmiresistit laminoidaan aihoiden päälle käyttämällä kuumia rullia, jotka levittävät lämmenneen resistin aihion pinnalle. Resistin kuumentessa sen viskositeetti pienenee, ja rullien aiheuttama paine saa sen täyttämään joka kohdan aihioista. Nestemäiset resistit voidaan levittää aihiolle rullien avulla, sprayaamalla, verhovalulla tai seulapainolla. (Coombs 2008a, 26.13.)

Resistin valottamisessa (expose photoresist) piirilevyn johdinkuvio muodostetaan resistin pintaan käyttämällä valotustyökalua ja valoa. Valotustyökalut ovat filmejä tai lasia, jolle valotettava kuvio monistetaan. Valotustyökalut on tehty polyesteristä tai lasista, ja niitä käytetään sovelluksesta riippuen. Polyesterifilmit ovat halvempia, mutta ne eivät pysty aivan parhaaseen tarkkuuteen, kun taas lasi on kallista, ja sillä päästään erittäin hyviin valotustarkkuuksiin. Valotustyökalujen käsittelyssä on tärkeää, etteivät työkalut likaannu, varsinkin kun mennään hyvin pieniin tarkkuuksiin. Valotustyökalujen kestävyudessa lasi on parempi. Lasi valotustyökalulla pystytään valottamaan 100–400 kertaa, kun taas polyesterillä 20–50 kertaa. Tämän takia lasiset valotustyökalut sopivat massatuotantoon ja polyesterin protosarjojen valmistukseen. Valotuksessa tärkeää on valotustyökalun kohdistaminen aihiolle. Kohdistaminen tehdään aihiolle tehtyihin kohdistusmerkkeihin joko mekaanisesti tai optisesti. Kohdistus on todella tärkeää mentäessä pieniin tarkkuuksiin. Valottamisessa käytettävän valon teho ja valotusajan pituus vaikuttavat resistin valotukseen. Valon teho ja valotusaika riippuvat käytetyistä materiaaleista ja menetelmistä. (Coombs 2008a, 26.16 – 26.19.)

Resistin kehityksessä (develop photoresist) poistetaan valottumaton osa resistiä. Valotuksen jälkeen valotettu osa resistiä on kovettunut aihion pintaan, eikä se irtoa kehi-

tyksen aikana pois. Kehityksessä aihio upotetaan kehitysluokseen, joka irrottaa valottamattoman osan resistiä. Kehitysaikaa, kehitysluoksen vahvuutta ja liuoksen lämpötilaa tulee tarkkailla kehityksen onnistumiseksi. Kehityksen jälkeen tapahtuu metallointiprosessi (pattern transfer), jossa johdinkuvio galvanoidaan tai syövytetään aihiolle. Lopuksi jäljelle jäänyt resisti poistetaan (strip photoresist) käyttämällä kemiallisia kuorintaliuoksia. (Coombs 2008a, 26.26 – 26.27.)

4.4 Syövytys

Syövytysprosessissa piirilevyn kuparikalvoa syövytetään kemiallisesti siten, että jäljelle jää vain haluttu johdinkuvio. Johdinkuvion syövytys tapahtuu kemiallisissa kylvyissä, johon aihio upotetaan. Ennen syövyttämistä aihioille laitetaan resisti, joka suojaa niitä johdinalueita syövytykseltä, jotka halutaan säilyttää. Piirilevyn aihion kuparipinnan tulee olla puhdas ennen resistin valottamista. Pinta voidaan puhdistaa joko kemiallisesti tai mekaanisesti. (Coombs 2008a, 34.1.)

Johdinkuvion suojana käytettyjä resistejä on monenlaisia. Resistiä valittaessa tulee syövytyskylvyn tyyppi ottaa huomioon, koska kaikki resistit ja kyvyt eivät ole yhteensopivia. Seulapainettua resistiä käytetään normaaleissa piirilevyn sovelluksissa. Seulapainolla voidaan tehdä negatiivisia (vain eristevälit) tai positiivisia (vain johdinkuvio) johdinkuvioita. Seulapainolla tehdyt resistit ovat epätarkkoja eikä niitä voida käyttää tarkkuutta vaativissa sovelluksissa. Valotettavia resistejä on saatavilla kuivafilminä tai nestemäisessä muodossa. Valotettavilla resisteillä saavutetaan hyvä tarkkuus, joten niitä käytetäänkin kaikkein parasta tarkkuutta vaativissa sovelluksissa. Valotettavilla resisteillä voidaan myös tehdä positiivisia tai negatiivisia johdinkuvioita. Metalliresistejä on myös käytössä. Metalliresistejä käytettäessä ohut kerros metallia galvanoidaan piirilevyn johdinkuvioiden suojaksi. Käytettyjä metalleja ovat tina, nikkeli, kulta ja muut harvinaisemmat metallit. (Coombs 2008a, 34.2 – 34.3.)

Syövytyskylpyä valittaessa piirilevyn valmistajan pitää tarkastella tiettyjä syövytykseen liittyviä asioita. Syövytyskylvyn pitää olla yhteensopiva piirilevyn suojaavan resistin

kanssa. Yhteensopimattomuus johtaa resistin ja johdinkuvion syöpmiseen. Kylvyn syövytysnopeus, joka vaikuttaa aihoiden läpimenoaikaan, on tärkeä kriteeri kylpyä valittaessa. Syövytyslinjaston huolto, kylpyjen hoito ja uusiminen, kylpyjen hävittäminen ja jätteiden käsittely ovat asioita, jotka tulee ottaa huomioon kylpyä valittaessa. (Coombs 2008a, 34.6.)

Lähes kaikki nykyään käytettävistä syövytyskylvyistä ovat joko ammoniumhydroksidi- tai kuparikloridikylpyjä. Ammoniumhydroksidikylvyt ovat paljon käytettyjä niiden pitkän keston, useiden metallien kanssa yhteensopivuuden ja nopean syövytysnopeuden takia. Kylpy irrottaa kuparin aihion suojaamattomilta alueilta hapettumisen ja liukenemisen kemiallisilla reaktioilla. Kylvyn lämpötila on 50 °C ja pH-arvo 8.0 – 8.8. Kylpy pystyy irrottamaan 35 µm kuparia noin yhdessä minuutissa. Syövytyslinjasto vaatii hyvän ilmanvaihdon syövytysprosessissa vapautuvien myrkyllisten ammoniakkihöyryjen takia. Aihiot pitää huuhdella huolellisesti vedellä välittömästi syövytyksen jälkeen. (Coombs 2008a, 34.6 – 34.9.)

Kuparikloridikylpyjen etuja on edullisuus verrattuna ammoniumhydroksidikylpyyn ja erittäin hyvä syövytystarkkuus. Heikkouksina voidaan nähdä hitaampi syövytysnopeus, yhteensopimattomuus useiden metalliresistien kanssa ja kylvyn hävittämisen kalleus. Kylvyn lämpötila on 50 °C ja pH-arvo alle 1. Kylpy syövyttää 35 µm kuparia noin 75–90 sekunnissa. Tämäkin syövytysmenetelmä vaatii hyvän ilmanvaihdon myrkyllisten höyryjen takia. (Coombs 2008a, 34.10 – 34.14.)

Syövytyksen jälkeen ylimääräinen resisti pitää poistaa aihion pinnalta. Resistin tyyppi vaikuttaa siihen, millä keinolla se voidaan poistaa. Seulapainetut resistit poistetaan natriumhydroksidikylvyssä. Kyvyssä resisti alkaa hajota, ja kylvyn jälkeen resisti huudellaan vedellä pois aihion pinnalta. Valotettavat resistit poistetaan aihiolta käyttämällä valmiita resistinpoistosekoituksia. Metalliresistit voidaan poistaa hapettavassa fluoridiliuoksessa. (Coombs 2008a, 34.4 -34.5.)

4.5 Metallointiprosessi

Metallointiprosessin tarkoituksena on metalloida piirilevyn reiät yhdistäen piirilevyn sähköiset yhteydet puolelta toiselle sekä erilaisten pinnoitteiden metalloiminen piirilevyn pinnalle, joko suojaamaan syövytysprosessin ajaksi tai komponenttien kiinnityskohtien suojaksi. Metalloimisprosessi tapahtuu liukuhihnamallisessa linjastossa, jossa aihioita käsitellään automaattisella tietokoneohjauksella. (Karhula 2009b.)

PTH-piirilevyjen ja monikerrospiirilevyjen reiät metalloidaan kuparilla. Metallointiprosessia varten piirilevyn reiät pitää esikäsitellä katalyytillä, jotta sinne voidaan metalloida tarvittava kuparipinta. Tätä tekniikkaa kutsutaan suorametalloinniksi. Suorametallointi tekniikoita on kehitetty monia erilaisia. Tekniikoille yhtenäistä on piirilevyaihioiden puhdistaminen ennen reikien käsittelyä katalyytillä, useat huuhtelut käsittelyn välissä, microetch ja käsittely hapettumista estävällä aineella. Tekniikat vaihtelevat katalyytin mukaan. Erilaisilla katalyyteillä on erilaiset prosessinkulut, mutta pääasiat löytyvät jokaisesta. Erilaisia katalyyttiaineita ovat palladium, hiili, grafiitti ja polymeeri. (Karhula 2009b.)

Reissä olevien epäpuhtauksien poistoon on kehitetty erilaisia menetelmiä. Rikkihappo, kromihappo, permanganaatti ja plasma ovat epäpuhtauksien poistoon käytettyjä menetelmiä. Kaikki menetelmät poistavat epäpuhtaudet, mutta piirilevyn reikien seinämien laadussa on eroja eri menetelmissä. (Coombs 2008a, 28.7.)

Metallointiprosessi alkaa aihoiden pinnan puhdistuksella. Puhdistamiseen käytetään emäksistä liuosta, joka poistaa rasvan ja lian aihion pinnalta. Aihoiden pintaa puhdistetaan myös microetchauksella. Metallointiprosessien aikana ahiot huudellaan hyvin moneen kertaan. Aihoiden huuhteluun käytetään puhdasta vettä. Veden tulee olla puhdasta, eikä siinä saa olla kemikaaleja, jotka voivat huonontaa metalloinnin tulosta. Yleisimpiä epäpuhtauksia vedessä on kalsium, kvartsi, magnesium, rauta ja kloridi. Puhdistettu aihio laitetaan tämän jälkeen elektrolyyttiliuokseen, jossa tapahtuu metalloiminen. (Coombs 2008a, 28.3.)

Metallien metalloiminen perustuu elektrolyysiin. Elektrolyysi on hapettumis-pelkistymisreaktio, joka tapahtuu elektrolyyttiliuoksessa sähkövirran avulla. Metalloittuminen tapahtuu katodilla, johon positiivisesti varautuneet ionit kulkeutuvat ja pelkistyvät. Metalloittumisen paksuus riippuu ajasta ja virrasta. Taulukossa 6 on yleisimpien piirilevyvalmistuksessa käytettyjen metallien pinnoitusnopeudet. (Coombs 2008a, 29.1 – 29.2.)

TAULUKKO 6. Yleisten metallien galvanointi nopeuksia (Coombs 2008a, 29.2).

Metalli	Grammaa metalloitu / Ah	Ah / dm ² metalloidakseen 25 µm
Kupari	1.186	1.88
Tina	2.214	0.82
Lyijy	3.865	0.73
Nikkeli	1.095	2.00
Kulta	7.348	0.65

Haasteena metalloinnissa on yhtenäisen, tasapaksuisen metalloittumisen saavuttaminen. Elektrolyyttiliuoksen huoltaminen, liuoksen lämpötila, kemikaalien oikeat suhteet, anodin ja katodin välinen etäisyys ja epäpuhtaudet liuoksessa vaikuttavat metalloinnin lopputulokseen. Metallointi aika ja virran jakautuminen aihion eri osiin vaikuttavat myös metalloinnin onnistumiseen. (Coombs 2008a, 29.13.)

Yleisin käytössä oleva liuos, jolla metalloidaan kuparia, koostuu kuparisulfaattista, rikkihaposta, kloridista ja orgaanisista lisäaineista. Kuparisulfaatti toimii metallin lähteenä. Rikkihappo parantaa liuoksen johtavuutta mahdollistaen suurempien virtojen käytön pienemmillä jännitteillä. Liuoksen lämpötilan tulisi olla 21 – 25 °C. Muita metallointiliuoksia ovat tinasulfaattihappo tinalle, nikkelisulfamaatti nikkeliille ja kaliumkultasyanidihappo kullalle. (Coombs 2008a, 29.14 – 29.15, 29.21, 29.23, 29.26.)

4.6 Prässäys

Monikerrospiirilevyjä valmistettaessa sisäkerroslaminaatit pitää prässätä kiinni toisiinsa käyttämällä kuumaa prässää. Normaalilla hydraulisella prässillä saavutetaan hyvä tuotantoteho. Prässiin kasataan pakka, johon on kasattu piirilevyaihoita. Monikerrospiirilevyjen sisäkerrosten väliin tulee pre-preg -materiaalia, joka koostuu hartsista ja vahvikkeesta. Sisäkerrosten ja pre-preg -materiaalin kasaamisen jälkeen laitetaan ohut kuparikalvo piirilevyn päällimmäiseksi. Monikerrospiirilevyjen sisäkerrokset pitää kohdistaa toisiinsa, kun kerroksia on kuusi tai enemmän. Tämä on erittäin tärkeää, varsinkin vaativissa sovelluksissa, joissa läpivientien eristevälit ovat pienet. Huonosta kohdistuksesta voi seurata väli- tai pintakerrosten välisiä oikosulkuja.

Materiaalista riippuen prässille tulee määritellä lämpötila, paine ja prässäyksen kesto. Lämpötilan tulee olla hartsimuodon lasittumislämpötilan mukainen, jotta hartsi pääsee muuttumaan muokattavampaan muotoon. Paine painaa prässissä olevaa pakkaa, jolloin hartsi täyttää johdinkuvion aiheuttamat välit, eikä aukkoja jää kerrosten väliin. Ennen prässiin laittoa välikerros laminaattien pinnat pitää karhentaa pre-preg materiaalin tartunnan parantamiseksi.

4.7 Pintakäsittely

Piirilevyjen pintakäsittelyllä on kaksi tarkoitusta: Ensimmäinen on komponenttien kiinnityskohtien suojaaminen hapettumiselta ja komponentin ja piirilevyn välisen juotoksen parantaminen. Toinen tarkoitus on piirilevyn muiden osien suojaaminen juottamiselta.

4.7.1 Suojapinnoitteet

Suojapinnoitteet suojaavat piirilevyn ja komponenttien välisiä kiinnityskohtia hapettumiselta ja parantavat kiinnitystä. Piirilevyjen valmistaja hakee tiettyjä ominaisuuksia suojapinnoitteilta. Pinnoitekemikaalien ja pinnoitusvälineiden tulisi olla edullisia.

Pinnoitteiden työstämisen tulisi olla helppoa ja pinnoitusprosessin yksinkertaista. Käsiteltyjen kohtien tulisi olla elektronisesti testattavia ja suojapinnoitteiden tulisi kestää pitkiä säilytysaikoja. Pinnoitusprosessi ei saa vahingoittaa juotosmaskia, ja prosessissa syntyvien jätteiden käsittelyn tulisi olla helppoa. Näitä peruseräaatteita noudattaen on piirilevyteollisuudelle kehitelty erilaisia suojapinnoitteita. Tässä työssä käsittelen kolmea erilaista pinnoitetta. (Coombs 2008a, 32.2.)

HASL (Hot Air Solder Level) -pinnoitteessa piirilevyn padit päällystetään normaalilla juotteella. Yleisimmät lyijyttömässä juottamisessa käytetyt pinnoitteet ovat tina-kupari, tina-hopea-kupari ja tina-kupari-nikkeli. Pinnoitteen paksuus vaihtelee välillä 2 – 20 μm . HASL pinnoitteen prosessi aloitetaan kuparin pinnan puhdistamisella happokylvyssä. Tämän jälkeen aihio menee microetchiin, jossa kuparipinnasta kuori-taan 1-2 μm kuparia pois, jotta kuparipinta olisi joka puolella samanlainen ja pinnoit-tuisi joka kohdasta saman verran. Microetchauksessa käytetään peroksidi-, persul-faatti- tai monopersulfaattikylpyjä. Kuparipinnoille laitetaan fluxia, joka parantaa juotoksen tarttumista aihioon. Fluxin jälkeen aihio upotetaan sulaan juotteeseen ja nostetaan ylös, samalla puhaltuen ylimääräiset juotteet pois. HASL:in etuina ovat edullisuus, juotoksen kestävyys ja pitkä säilytysikä. Haittoina taas on epätasaisuus, tarkkuus ja kuumen juotoksen aiheuttamat termiset vahingot aihiolle. (Coombs 2008a, 32.4 – 32.5.)

ENIG (Electroless Nickel / Immersion Gold) pinnoitteessa padit päällystetään ensin nikkellillä ja sen jälkeen puhtaalla kullalla. Pinnoitteeseen tulee ohut nikkeli-kerros 3 - 5 μm ja ohuempi kultakerros 0.05 – 2 μm . Prosessi alkaa kuparipinnan puhdistuksella ja microetchauksella, joiden jälkeen aihio altistetaan katalyytille, joka mahdollistaa nikkelin päällystämisen kuparipinnalle. Yleisin katalyytti on palladium. Aihio käytet-tään happokylvyssä, joka poistaa ylimääräisen katalyytin kohdista, jossa ei ole kupa-ria, minkä jälkeen aihio päällystetään nikkellillä. Kultakerros päällystetään viimeisek-si. Kulta suojaa nikkeliä hapettumiselta ja passivoitumiselta. ENIG:in hyödyt ovat sen tasaisuus, hyvä pintakontakti ja pitkä säilytysikä. Haittoina ovat kalleus, heikohko juotosvahvuus ja vaikea valmistus prosessi. (EPA 2000.)

OSP (Organic Solderability Preservative) on orgaaninen suojakerros kuparille. Yleisimmät orgaaniset pinnoitteet ovat benzimidazole ja phenylimidazole. OSP-pinnoite on erittäin ohutta 0.1 – 0.5 µm. OSP:n pinnoitusprosessi alkaa myös happokylvyllä ja microetchauksella, minkä jälkeen kuparipinnoille päällystetään orgaaninen suojapinnoite. Prosessin jokaisen kemiallisen vaiheen jälkeen pitää aihio huuhdella erittäin hyvin, jotta kaikki edellisen vaiheen kemikaalit lähtevät pois. Lopuksi pinnoite kovetetaan aihiolle lämpimällä ilmalla kuivaten. OSP:n hyödyt ovat sen tasaisuus, halvin suojapinnoite ja nopea sekä helppo valmistusprosessi. Haittoina ovat käsittelyherkkyys, lyhyt säilytysikä ja monen juotoskerran kestättömyys. (EPA 2000.)

4.7.2 Juotosmaski

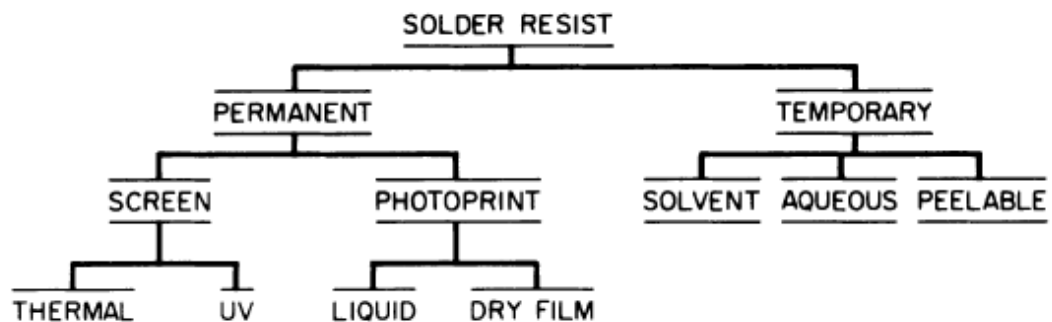
Piirilevyn juotosmaski suojaa piirilevyä komponenttien asentamisen yhteydessä käytetyltä juotokselta. Juotosmaski antaa piirilevyille myös värityksen. Juotosmaskeja on saatavilla monina eri väreinä, mutta suosituin juotosmaski väri on vihreä. Kuviossa 13 on esitetty juotosmaskien tyypit.

Juotosmaskeja on kolme päätyyppiä. Pysyvistä (permanent) juotosmaskeista vanhempi tekniikka on seulan läpi maskattavat ei-valotettavat maskit (screen). Nämä juotosmaskit on laitettava oikeaan kohtaan piirilevyä, koska niitä ei voi kovettaa tietyiltä alueilta ja poistaa muualta. Maskin laittamiseen käytetään seulaa, minkä läpi maskiaine levitetään. Maski kovetetaan tämän jälkeen UV-, IR-valolla tai termisesti. Tällä tekniikalla ei päästä nykyaikaisten piirilevyjen vaatimiin tarkkuuksiin, joten sitä käytetään nykyään hyvin vähän. (Coombs 2008a, 33.3.)

Toinen pysyvistä juotosmaskeista on seulan läpi maskattavat valotettavat maskit (photoprint). Tämä tekniikka pystyy vastaamaan nykyaikaisten piirilevyjen vaatimiin tarkkuuksiin, ja suurin osa piirilevyteollisuudesta käyttää tätä menetelmää. Valotettavia juotosmaskeja on saatavilla nestemäisessä muodossa ja kuivafilminä. Näistä käytetympi on nestemäinen juotosmaski sen edullisuuden ja helpomman käytön takia.

Tällä tekniikalla päästään erittäin hyviin tarkkuuksiin, jopa 25 – 30 μm . (Coombs 2008a, 33.3.)

Väliaikaiset juotosmaskit (temporary) ovat tarkoitettu suojaamaan joitain erityiskohtia piirilevyllä, johon tulee jokin komponentti, jota ei haluta asentaa muiden komponenttien asennuksen yhteydessä. Väliaikaiset juotosmaskit ovat yleensä lateksia tai teippiä, jotka asennetaan suojattavien kohteiden päälle. Muiden komponenttien asennuksen jälkeen väliaikainen juotosmaski poistetaan liottamalla tai kuorimalla. (Coombs 2008a, 33.4.)



KUVIO 13. Juotosmaskien tyypit (Coombs 2001b, 34.4).

Työssäni käsittelen valotettavan juotosmaskin työprosessia. Työprosessi on melkein identtinen ennen galvanointia tai suorametallointia tapahtuvan johdinkuvion valotusprosessin kanssa. Ennen prosessin aloittamista piirilevy aihiot pitää esikäsitellä, jossa aihion johdinkuvion pinta karhennetaan kemiallisesti tai mekaanisesti. Karhennus parantaa juotosmaskin tartuntaa piirilevyn pintaan. Prosessi aloitetaan nestemäisen maskin levittämällä piirilevy aihion pinnoille johon on kehitetty erilaisia menetelmiä: (Karhula 2009a.)

- Seulapaino on yleisin käytetyistä tekniikoista. Tekniikka käyttää seula, joka koostuu erittäin tiheästä nylonverkosta. Verkon läpi painetaan maskiaine, joka levittyy tasaisesti aihion pinnalle. Nylonverkon tiheys määrittää, kuinka paksu

maskista tulee. Seulapainon heikkoutena liiallisen maskin joutuminen piirilevyn reikiin ja hyvytenä nopeus ja edullisuus. (Karhula 2009a.)

- Spraypäälylystämässä juotosmaski sprayataan aihion pinnalle käyttäen ilmasuihkua. Etuna tällä menetelmällä on maskin poistamisen helppous piirilevyn reistä. (Karhula 2009a.)
- Verhopäälylystämässä aihio menee nopeasti jatkuvasti putoavan ”maskiverhon” läpi. Aihiot maskautuvat vain toiselta puolelta, joten ne on ajettava uudestaan ”verhon” läpi. Juotosmaskin laatu riippuu suuresti tippuvan ”maskiverhon” tasaisuudesta. Tällä tekniikalla saavutetaan erittäin hyvä aihoiden läpimenoaika. (Karhula 2009a.)

Nestemäisen maskin levittämisen jälkeen pitää aihio esilämmittää ennen valottamista. Esilämmityksessä nestemäinen maski kovetetaan, että se pystytään valottamaan. Valottamisessa käytetään suuritehoisia lamppuja, jopa 7 kW, jotka tekevät maskista sellaisen, ettei se lähde kuoriutumaan tai häviämään kun sitä kehitetään. Valotuksen onnistumiseksi valon aaltopituuden ja voimakkuuden sekä valotusajan täytyy olla oikeat. Tämän jälkeen juotosmaski kehitetään natriumkarbonaatti- tai kaliumkarbonaattikylvyssä. Kehityksen tarkoitus on hävittää juotosmaski aihion valottamattomista kohdista, eli kohdista, mihin komponentit asennetaan. Prosessin päätteeksi juotosmaski pitää kovettaa korkeassa lämpötilassa. Kovettamiseen voidaan käyttää UV-, IR-valoa tai normaalia uunia. (Karhula 2009a.)

4.8 Tarkastus ja testaus

Piirilevyjen tarkastaminen ja testaaminen virheiden varalta on nykyaikaisessa piirilevyn valmistuksessa välttämättömyys. Piirilevyjen johdin leveydet sekä läpivientien koko ovat pienentyneet, ja niiden määrät kasvaneet valtavasti nykyaikaisissa soveluksissa. Kustannukset ovat yksi syy virheiden etsimiselle. Elektronisen tuotteen valmistuksessa on monta vaihetta, ja moni asia maksaa, kuten piirilevyn valmistus, kom-

ponentit ja niiden kasaus piirilevyille, asennus tuotteeseen, logistiikka ja muut kulut. Virheiden havaitseminen tuotantoketjun alkupäässä voi säästää suuria määriä aikaa ja rahaa. (Coombs 2008a, 36.4.)

Toinen syy tarkastamiselle ja testaamiselle on piirilevyprosessissa syntyvien virheiden havaitseminen ja virheiden syntyperän selvittäminen. Piirilevyn tuotantoprosessin ollessa erittäin herkkä muutoksille on selvää, että välillä prosessissa olevat työvaiheet muuttuvat. Nämä muutokset voivat aiheuttaa toisissa työvaiheissa virheitä. Testauksessa ja tarkastuksessa kerätystä datasta voidaan selvittää, mikä työvaihe aiheuttaa virheen ja miten siihen voidaan reagoida. Tällä tavoin pienennetään myös piirilevyjen valmistuskustannuksia. (Coombs 2008a, 36.6.)

Kolmas syy piirilevyjen tarkastamiselle ja testaamiselle on asiakastyytyväisyys. Asiakas olettaa tilatessaan piirilevyjä, että piirilevyt ovat toimivia ja toimitettu ajallaan. Piirilevyjä tarkastamalla ja testaamalla pyritään poistamaan virheiden mahdollisuus piirilevyistä ja pitämään myös asiakas tyytyväisenä. Piirilevyjen laadun pysyessä moitteettomana asiakas-suhteet pysyvät myös kunnossa.

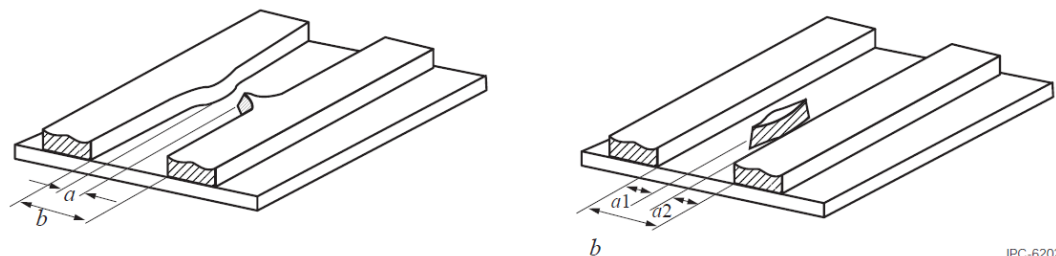
Testaus ja tarkastus jakautuvat kahteen eri osa-alueeseen. Suurin osa piirilevyjen tarkistuksesta tapahtuu optisesti, joko automaattisella optisella tarkastuslaitteella tai silmämääräisesti. Hyvin yksinkertaiset ja suurilla johdinleveyksillä sekä suurilla eristeväleillä olevat piirilevyt voidaan tarkistaa silmämääräisesti hyvinkin luotettavasti. Monimutkaisemmat piirilevyt, joissa on paljon ohuita johtimia ja pienet johdinvälit, ovat mahdottomia tarkistaa silmämääräisesti tarpeeksi luotettavasti. Tällaiset levyt tarkistetaan automaattisella optisella tarkastuslaitteella (AOI-laite). AOI-laite skannaa piirilevyn pinnan UV-valolla, jolla se erottaa piirilevyn eristemateriaalin johdinkuvioista. AOI-laite vertaa skannaamaansa kuvaa ennalta tehtyyn kuvaan ja huomaa mahdolliset erot kuvissa.

Elektroninen testaus suoritetaan yleisesti kaksi-puoleisille ja monikerrospiirilevyille. Yleisimmät testauslaitteet ovat liikkuvaneula testauslaite ja fixture-testauslaite. Fixture-testauslaitteet käyttävät piirilevyille tehtyä neulapetiä apuna testauksessa. Neulape-

dissä on jokaista testattavaa kohdetta varten oma neulansa. Ensimmäisenä testattava piirilevy toimii ns. referenssilevynä, johon kaikkia muita piirilevyjä verrataan. Etuna fixture-testauslaitteilla on levyjen testausnopeus ja heikkouksina neulapetien valmistus, huolto ja kustannukset sekä neulapetien suuri tilan tarve.

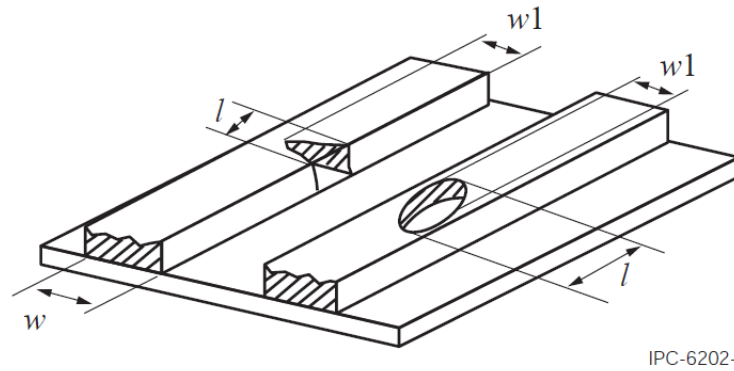
Liikkuvaneula testauslaitteissa on 2 – 24 testausneulaa laitteesta riippuen, ja ne testaavat piirilevyn johdinkuvion sähköiset yhteydet. Piirilevyistä tehdään testausohjelma, jonka mukaan testauslaite käy läpi kaikki mahdolliset yhteydet piirilevyllä. Etuna liikkuvaneula testauslaitteilla tarkkuus, tilan tarve sekä neulapedeistä eroon pääseminen ja heikkouksena testausnopeus.

Yleisimmät virheet, joita piirilevyistä löydetään, ovat oikosulut ja katkokset. Oikosulku muodostuu silloin, kun kahden eri johtimen välille syntyy johtava silta. Virhettä voidaan yrittää korjata poistamalla johtimien välinen yhteys. Johtavaa materiaalia ei myöskään saa olla liian lähellä toisia johtimia kuvion 14 osoittamalla tavalla.



KUVIO 14. Johtimien välissä olevia kupari alueita (IPC 1999).

Katkos tarkoittaa piirilevyllä olevan johtimen katkeamista. Katkennutta johdinta voidaan yrittää korjata hopea- tai kuparipastalla. Johtimessa voi olla kaventumia tai reikiä, jotka on myös korjattava tai hylättävä. Kuviossa 15 on johtimeen syntyneitä virheitä.



IPC-6202-1

KUVIO 15. Johtimesta oleva virhe (IPC 1999).

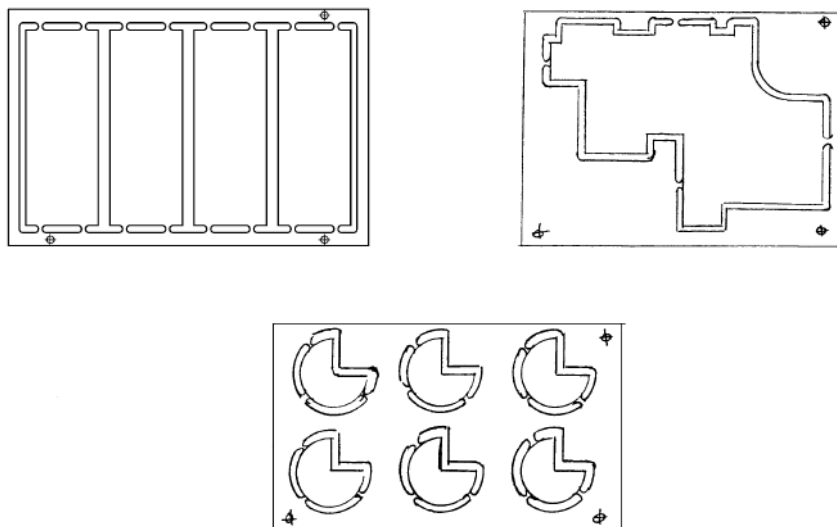
4.9 Työstö

Työstö on piirilevyn valmistusprosessin viimeisiä työvaiheita. Työstössä piirilevy aihioista irrotetaan piirilevyt tai näkkärit. Piirilevyt voidaan irrottaa aihioista kahdella eri tapaa: jyrsimällä tai urittamalla.

4.9.1 Jyrsintä

Jyrsintä työvaiheessa piirilevy saa sen ulkomuodot. Piirilevyaihiosta piirilevyt jyrsitään lopulliseen muotoonsa käyttämällä CNC-jyrsintäkoneita ja niille valmisteltuja jyrsintäohjelmia, jotka ovat asiakkaiden tarpeiden mukaiset. Jyrsittäessä piirilevyaihiota voidaan piirilevyt jättää näkkäriksi tai jyrsiä yksittäiset levyt irti. Näkkärielle jätettäessä piirilevyn kulmiin jätetään pienet alueet, joista piirilevy pysyy kiinni näkkärissä. Jyrsintäkoneissa on yleensä 1 – 4 terää, jolla voidaan jyrsiä yhtäaikaista pakkoja, joissa on piirilevyaihiota materiaalin paksuudesta riippuen. Jyrsimisessä käytetään kardibiteriä, jotka ovat erittäin kovaa materiaalia. Terien hampaat eivät saa olla liian tiukat, ja jyrsityn materiaalin pitää irrota teristä helposti, muuten jyrsintäjälki on huonoa. Jyrsinnän aikana terät pyörivät useita kymmeniätuhansia kierroksia minuutissa materiaalista riippuen. Terien liikkumisnopeus riippuu myös jyrsittävästä materiaa-

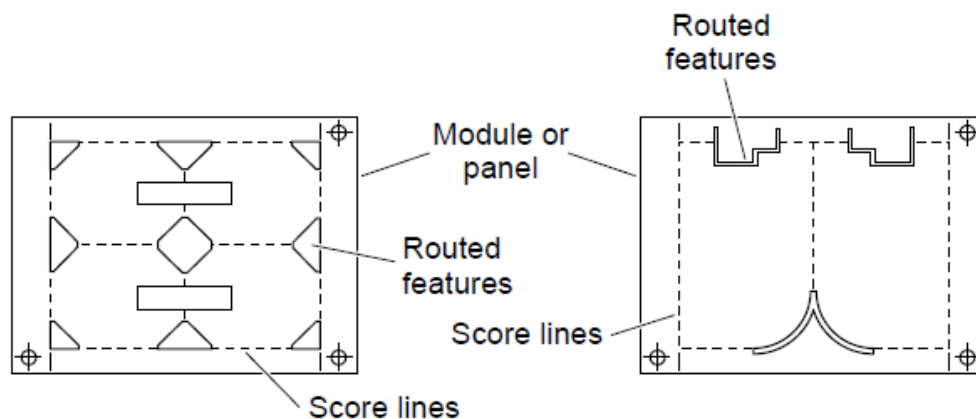
lista ja materiaalin paksuudesta (Coombs 2008a, 35.10). Kuviossa 16 on esimerkkejä, siitä minkälaisia jrsityt piirilevyt ovat.



KUVIO 16. Erilaisia jrsimismuotoja (Coombs 2001b, 35.7).

4.9.2 Uritus

Uritus liittyy myös piirilevyjen ulkomuodon muokkaamiseen. Urituksella tarkoitetaan piirilevyn pinnoille tehtäviä pitkiä ja suorita V-uria. Urituksen ideana on, että V-uran kohdalta piirilevy näkkäristä on helppo taittaa yksittäiset piirilevyt irti. Uritus on halvempi ja nopeampi työvaihe kuin jrsintä ja sopii hyvin suorakulmiollisille piirilevyille. Uritus tehdään myös käyttämällä CNC-urituskonetta, jolle on tehty asiakkaan toiveiden mukainen ohjelma. CNC-urituskoneissa on yleensä terät kummallakin puolella, minkä takia V-urat pystytään tekemään piirilevyn kummallekin puolelle yhtä aikaa. Urituksessa käytettävät terät ovat yleensä karbidi- tai timanttiteriä (Coombs 2008a, 35.14). Kuviossa 17 on esimerkkejä, miten urituksen voi tehdä. Urituslinjat (score lines) linjaavat piirilevyn ulkomitat, ja jrsityt kohdat (routed features) antavat piirilevyille muotoja.



KUVIO 17. Esimerkkejä urituksesta (Coombs 2001b, 35.13).

Jyrsintä ja uritus tuottavat paljon likaa ja pölyä, joten piirilevyt pitää puhdistaa huolellisesti ennen asiakkaalle lähettämistä. Puhdistuksen voi suorittaa paineilmalla puhdistamalla tai puhdistusta varten olevalla pesukoneella. Pesukoneessa on hyvä olla tehokas kuivaus, etteivät piirilevyt pääse hapettumaan kosteuden takia.

Piirilevyjen ulkomuotojen valmistuksen jälkeen piirilevyt lopputarkastetaan. Lopputarkastuksessa piirilevyn pinta tarkastetaan, ettei siinä ole naarmuja tai muita kosmeettisia virheitä. Lopputarkastuksen jälkeen piirilevyt pakataan ilmatiiviiseen pakettiin hapettumisen estämiseksi ja lähetetään asiakkaalle.

5 YMPÄRISTÖKYSYMYKSET

Piirilevytuotannossa käytetään paljon erilaisia kemikaaleja, prosesseja ja materiaaleja, joista voi ympäristöön päästessään koitua erittäin paljon vahinkoa. Useat järjestöt, kuten EU, ovat laatineet säädöksiä ja lakeja suojellakseen ympäristöä rajoittamalla vaarallisten aineiden käyttöä ja ohjeistamalla niiden oikeaa käsittelyä ja kierrätystä. Tänä päivänä energian kulutus on myös erittäin ajankohtainen asia. Tuotantolaitosten tulisi olla energiatehokkaita, ja prosessien vaatimaa energian tarvetta pitäisi yrittää pienentää.

Piirilevytuotannossa käytetään erittäin paljon vettä. Kemiallisten prosessien, kuten syövytys, metallointi, resistin poistaminen, välissä vettä käytetään aihoiden huuhteluun. Erilaiset huuhtelutekniikat tähtäävät vedensäätöön. Huuhteluissa käytetyt suodattimet mahdollistavat veden uudelleenkäyttämisen melkein 100-prosenttisesti. Tärkeää on, ettei vaarallisia kemikaaleja joudu viemäriverkostoon veden mukana. Tämän takia suodattimia käytetään veden puhtauden varmistamiseksi. (Coombs 2008a, 60.9.)

Kemiallisten kylpyjen käyttöään pidentämisellä pyritään vähentämään saasteiden tuottoa. Kylpyjä suodatetaan jatkuvasti epäpuhtauksien poistamiseksi. Hyvä suodatus pitää kylvyn puhtaampana pidentäen sen käyttöikä ja parantaen sen toimintaa. Kylpyjä käytettäessä niiden teho heikkenee jatkuvasti. Kylvyt, kuten syövytys, resistin poisto tai huuhtelut, saavat jatkuvasti metalleja näistä prosesseista. Metallien reagoissa kylpyjen kanssa ne heikentävät kylvyn tehoa. Kylpyjen uudistamiseksi on kehitetty erilaisia mekaanisia ja kemiallisia menetelmiä. Kylpyjen tuottamat myrkylliset höyryt tulee myös suodattaa, etteivät ne pääse ympäristöön ja aiheuta vahinkoa. (Coombs 2008a, 60.11 – 60.12.)

Kylpyjen käyttöään loppuessa ne pitää hävittää säädösten mukaan. Kylvyt pitää neutraloida ennen niiden hävitystä. Neutraloimisen jälkeen kylvyt pitää kuljettaa jätteenkäsittelylaitokselle, jossa niiden lopullinen hävittäminen tapahtuu.

Piirilevyillä käytetyt erilaiset metallit pyritään keräämään talteen ja kierrättää. Suurin osa metalleista on kuparia, josta piirilevyn johdinkuvio koostuu. Kuparia kerätään talteen syövytyskylvystä, jossa sitä syövytetään johdinkuvion valmistamiseksi. Myös puhdistuskylvyt keräävät metalleja talteen, ja ne erotellaan kylvyistä erilaisilla menetelmillä. Kulta, tina ja hopea ovat metalleja, jotka kerätään myös talteen ja lähetetään kierrätyskeskukseen.

Energian säästämiseen tulisi myös kiinnittää huomiota. Piirilevyjen valmistuksessa käytetään paljon energiaa vieviä laitteita, kuten kompressoreita, CNC- poraus- ja jyr-sintäkoneita ja syövytyslinjastoja. Energiakustannukset voivat olla suuri osa yrityksen muuttuvia kustannuksia, joten energiansäästöön kannattaa kiinnittää huomiota jo taloudellisista syistä. Paljon energiaa kuluttavat laitteet tuottavat myös paljon lämpöä. Tätä lämpöä kannattaa yrittää hyödyntää esimerkiksi tuotantolaitoksen lämmityksessä.

6 AMMATILLISEN KEHITYKSEN POHDINTA

Lopputyön aihetta valitessa pohdin, mikä aihe olisi minulle ammatillisesti paras vaihtoehto. Valintaa tehdessäni sain vakituisen työpaikan Elprintta Oy:stä, jossa valmistetaan piirilevyjä. Tuolloin en tietänyt oikeastaan mitään piirilevyjen valmistuksesta. Työpaikallani työskentelen piirilevyjen testaus ja tarkistus osastolla, jossa piirilevyjen vikojen havaitseminen on päätyötä. Tämän takia päätin tehdä lopputyöni piirilevyn valmistusprosessista.

Lopputyötä tehdessäni olen käynyt samalla töissä. Tutkiessani piirilevyn valmistusta lopputyötäni varten huomasin työpaikallani tietäväni enemmän ja enemmän piirilevyjen valmistusprosessin kulusta. Tämä hyödytti erityisesti piirilevyjen virheiden havaitsemisessa ja niiden syntyperän ymmärtämisessä. Usein pääsin myös pohtimaan, miten virheen aiheuttanutta työvaihetta voisi parantaa uusien virheiden estämiseksi.

Lopputyön tekeminen piirilevyn valmistuksesta mahdollistaa työskentelyni muissa piirilevyn valmistuksen työvaiheissa. Useat piirilevyn valmistuksen työvaiheista vaativat erityistä tietoutta työvaiheen kulusta. Lopputyöni käsittelee kaikkia tärkeitä piirilevyn valmistusprosessin työvaiheita, joten omaan perustiedot jokaisesta työvaiheesta Uskon myös, että piirilevyn valmistusprosessin kokonaisvaltainen tunteminen auttaa minua etenemään urallani erilaisiin työpaikkoihin elektroniikkateollisuudessa.

Työtä tehdessäni tutkin piirilevy materiaalien ominaisuuksia. Piirilevyn monet erilaiset ominaisuudet, joista en ollut ennen kuullutkaan, tulivat työn tekemisen ohessa tutuiksi. Uskon, että näiden ominaisuuksien tunteminen on erityisen hyödyllistä piirilevyjen suunnittelussa. Huomasin, miten eri ominaisuudet vaikuttavat piirilevyjen suunnitteluun varsinkin vaativissa piirilevysovelluksissa. Piirilevy materiaalien ja niiden käyttäytymisen tunteminen eri ympäristöissä voi olla kriittinen osa vaativan piirilevysovelluksen suunnittelua.

Piirilevyn valmistusprosessiin kuuluu monta erilaista kemiallista prosessia. Työtä tehdessäni eteen tuli monta kemiallista liuosta, yhdistettä, kylpyä ja muita kemiallisia aineita, joista en ollut koskaan kuullutkaan. Kemia on minulle edelleen suhteellisen tuntematon tieteenala, mutta olen lopputyötä tehdessäni olen huomannut ymmärtäväni enemmän tätäkin tieteenalaa.

7 YHTEENVETO

Alana piirilevyjen valmistus on kehittynyt paljon 1950-luvulta lähtien. Kehityksen edetessä ovat piirilevyjen koot ja rakenteet muuttuneet erittäin paljon. Elektronisten tuotteiden siirtyessä aina vain pienempään kokoon, asettaa se haasteita piirilevyjen valmistukselle. Työssäni olen kuvannut tämänhetkisiä yleisimpiä tapoja valmistaa piirilevyjä, jotka pystyvät vastaamaan haasteellisiinkin piirilevysovelluksiin. Tulevaisuudessa piirilevy valmistuksen alueella on odotettavissa High Density Interconnects (HDI) -piirilevyjen yleistymistä. Tällaisilla piirilevyillä johdinkoot, eristevälit, läpivienti reiät ja komponenttien kiinnityskohdat ovat erittäin pieniä, ja ne on suunniteltu erittäin tiheäjalkaisille komponenteille. Piirilevyjen materiaalien sisälle rakennettujen aktiivisten ja passiivisten komponenttien käyttö tulee myös yleistymään. Tällä tekniikalla voidaan esimerkiksi vastus laittaa piirilevy materiaalin sisälle. Tekniikan etuna on tilan vapautuminen piirilevyn pinnalta johdinkuviolle ja suuremmille komponenteille.

Työssäni käsittelin piirilevyjen valmistusprosessia yleisellä tasolla. Tutkin piirilevyn valmistusprosessin keskeisiä työvaiheita ja kerroin niistä peruseriaatteet. Työvaiheista voisi kirjoittaa paljon enemmänkin, mutta työni tarkoituksena oli käsitellä piirilevyn valmistusta yleisellä tasolla. Koen onnistuneeni kuvamaan piirilevyn valmistuksessa tarvittavien työvaiheiden keskeisen sisällön työssäni. Käsittelin myös piirilevy materiaalien koostumusta, ominaisuuksia ja niiden vaikutusta piirilevytuotantoon. Koen tuoneeni selvästi esille eri materiaalien erilaiset ominaisuudet ja sen, minkälaisissa sovelluksissa niitä kannattaa tai voi käyttää. Kokonaisuutena uskon lopputyöni onnistuneen hyvin. Ammatillisessa mielessä olen huomannut työpaikallani ymmärtävän paljon enemmän asioita piirilevyistä nyt kuin ennen työni aloittamista.

Piirilevyn valmistuksessa keskeisiä asioita ovat prosessien hallinta, tiedon kerääminen, työntekijöiden ammattitaito, laitteiden kunto ja tuotantotilojen siisteys. Piirilevyjä tarkastaneena ja testanneena voin sanoa, että teoria ja käytäntö poikkeavat monel-

lakin tapaa. Piirilevyn valmistaminen ei ole yksinkertainen prosessi, vaan jokainen asia vaikuttaa lopputulokseen. Prosessien muuttumattomuus on tärkeää piirilevyjen valmistamisen ja hyvän laadun ylläpitämiseksi.

Koin lopputyöni tekemisen haasteelliseksi. Tietoja etsiessäni huomasin, että piirilevy valmistuksesta eteenkään Suomessa ei ole julkaistu kovin paljoa tietoa. Järjestöt kuten IPC, ovat laatineet paljon dokumentaatiota ja standardeja piirilevyteollisuudelle. Nämä dokumentit ja standardit ovat kuitenkin suunnattu yritysten käyttöön, minkä takia ne ovat erittäin kalliita. Kirjallisia lähteitä en löytänyt Suomesta juurikaan, joten tilasin yhden parhaimmista ja laajimmista piirilevyn valmistusta käsittelevistä kirjoista Yhdysvalloista. Lähteiden vähyden koen työni heikkoutena, mutta rajallisten resurssien kanssa uskon pystyneeni tekemään työstäni hyvän kokonaisuuden. Lopputyön kirjoittamisprosessi oli myös haastavaa, koska jouduin suomentamaan melkein kaiken tiedon minkä löysin. Toisaalta suomentaminen oli hyvä asia, koska piirilevyteollisuutta koskevat dokumentit ovat suurimmaksi osaksi kirjoitettu englanniksi. Opin alani sanastoa todella paljon, joka auttaa minua mahdollisesti tulevaisuudessa.

Piirilevyn valmistusprosessissa käytetään erittäin paljon kemiallisia aineita ja liuoksia sekä moni työvaihe perustuu kemiallisille reaktioille. Koska olen opiskellut kemiaa vain vähän, en käsitellyt kemiallisia prosesseja kovin tarkasti työssäni. Piirilevyjen tuotannossa käytetyt kemialliset reaktiot ovat monimutkaisia, ja niiden hallinta on vaikeaa. Kemiallisten prosessien tutkiminen voisi olla jatkotutkimus työlleni. Jatkotutkimuskohteita voisivat myös olla HDI-tekniikkaan syventyminen tai haudattujen komponenttien valmistusprosessit.

LÄHTEET

Asetus 969/2006. Annettu Helsingissä 9.11.2006.

Coombs, C. 2008a. Printed Circuits Handbook. 6. uudistettu painos. New York: The McGraw-Hill Companies.

Coombs, C. 2001b. Printed Circuits Handbook. 5. uudistettu painos. New York: The McGraw-Hill Companies.

Eur-Lex. 2003. EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2002/95/EY [verkkojulkaisu]. Eur-Lex [Viitattu 29.11.2008]. Saatavissa: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/fi/oj/2003/l_037/l_03720030213fi00190023.pdf.

EPA. 2000. Implementing Cleaner Printed Wiring Board Technologies: Surface Finishes. Ohje.

Frontline. 2009. Genesis 2000 Overview [verkkojulkaisu]. Frontline [Viitattu 6.2.2009]. Saatavissa: http://www.frontline-pcb.com/category/Genesis_Overview

IPC. 2008a. It's a lot more complex than just finding a solder solution [verkkojulkaisu]. IPC [Viitattu 3.12.2008]. Saatavissa: <http://leadfree.ipc.org/>.

IPC. 1999b. Performance Guide Manual for Single- and Double-Sided Flexible Printed Wiring Boards. Manuaali.

Karhula, T. 2009a. Tuotekehityspäällikkö. Elprintta Oy. Haastattelu 9.2.2009.

Karhula, T. 2009b. Tuotekehityspäällikkö. Elprintta Oy. Haastattelu 17.2.2009.

Sandholm, J. 2007a. FV1 Manufacturing. Esitys.

Sandholm, J. 2007b. PCB Technology 2007. Esitys.

Tieto. 2008. Prosessiteollisuus [verkkajulkaisu]. Tieto [Viitattu 6.2.2009]. Saatavissa:
<http://www.financialsolutions.fi/default.asp?path=408,410,16095,1128,16915,14316>