



Tero Yrjänä

TIETOKANTATYÖKALUN KEHITTÄMINEN PIIRILEVYMATERIAALEILLE

TIETOKANTATYÖKALUN KEHITTÄMINEN PIIRILEVYMATERIAALEILLE

Tero Yrjänä
Opinnäytetyö
Kevät 2012
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, elektroniikan tuotanto ja logistiikka

Tekijä: Tero Yrjänä

Opinnäytetyön nimi: Tietokantatyökalun kehittäminen piirilevymateriaaleille

Työn ohjaaja: Kauko Kallio

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2012

Sivumäärä: 36 + 3 liitettä

Piirilevyjen valmistuksessa käytetään lukuisia erilaisia materiaaleja ja niillä on joukko toisistaan poikkeavia teknisiä ominaisuuksia, jotka vaikuttavat esimerkiksi materiaalista valmistettavan tuotteen sähköiseen toiminnallisuuteen. Tilaajayrityksessä materiaalitietoja jouduttiin etsimään valmistajien datalehdistä, jolloin eri materiaalien vertailu oli työlästä ja aikaavievää. Työn tavoitteena oli kartoittaa olennaiset ominaisuudet ja rakentaa niistä tietokanta sekä työkalu, jolla eri materiaaleja olisi helppo vertailla.

Työkalun pohjaksi valittiin Microsoft Excel sen yleisyyden vuoksi ja siksi, että sitä olisi kenen tahansa helppo käyttää ja päivittää. Tietokantaan päätettiin sisällyttää kaikki laminaatti-, prepreg- ja RCCu-materiaalit, joista tilaajayritykselle oli toimitettu datalehti.

Tietokantaan valikoitui tarpeellisiksi nähtyjä sähköisiä ja mekaanisia ominaisuuksia, saatavilla olevia kokoja, erilaisia testihyväksyntätietoja sekä myös tehtaan omia prosessointiohjeita, yhteensä noin 50 tietokenttää. Vertailutyökalu toteutettiin kahtena versiona, joista toisessa voidaan valita listasta 1 - 3 tuotetta rinnakkainvertailuun ja toisessa valitaan 1 - 3 teknistä ominaisuutta, jolloin työkalu tuottaa palkkikaaviot kaikkien tietokannassa olevien tuotteiden kyseisestä ominaisuudesta.

Asiasanat:

Piirilevy, laminaatti, prepreg

ALKULAUSE

Aspocomp Oulu Oy:n tilaaman insinööriyön toteuttaminen oli erityisen mielenkiintoinen ja avartava tehtävä, ja se tuotti myös itselleni paljon käytännön tietoa yhdestä elektroniikkatuotannon alihankinnan olennaisimmista osa-alueista. Tietokantatyön ohella työskentelin tuotannossa ja opin syvällisesti modernin monikerrospiirilevyn valmistamisen vaiheet ja haasteet. Tätä kautta myös ymmärrys myöhemmin piirilevystä tuotettavan elektroniikan valmistusprosessin valintoihin syveni entuudestaan.

Kiitokset tilaajayritykselle, Aspocomp Oulu Oy:lle mielenkiintoisesta aiheesta ja hyvin toimineesta työryhmästä. Kiitokset myös työn ohjaajalle lehtori Kauko Kalliolle.

1.6.2012

Tero Urjänä

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 PIIRILEVYT	9
2.1 Piirilevyn rakenne	9
2.2 Johtimet	9
2.3 Läpiviennit	9
2.4 Pinnoitteet	12
2.5 Eristemateriaalit	13
2.6 Monikerroksiset piirilevyt	14
2.7 Prepregien ja laminaattien käyttö	14
3 SPESIFIKAATIOIDEN MÄÄRITELMÄT	19
3.1 T_g	19
3.2 T_g /DSC	20
3.3 T_g /TMA	22
3.4 T_d	23
3.5 T_d /TGA 5%	23
3.6 T260 ja T288	23
3.7 CTE	23
3.8 D_k	25
3.9 D_f	25
3.10 Curing system	25
3.11 Filler	26
3.12 Peel strength	26
3.13 Moisture absorption	26
4 TIETOKANTATYÖKALUN TOTEUTTAMINEN	27
4.1 Esivalmistelut	27

4.2 Materiaalitietojen selvittäminen	27
4.3 Tietojen tutkiminen ja työkalun suunnittelu	28
4.4 Vertailutyökalun kehittäminen	28
5 KEHITYSTYÖN TULOKSET	29
6 YHTEENVETO	32
6.1 Työn päätarkoitus	32
6.2 Tavoitteiden toteutuminen	32
6.3 Pohdinta	32
LÄHTEET	34
LIITTEET	
Liite 1 Lähtötietomuistio	
Liite 2 Työkalun tuotevertailuosa	
Liite 3 Työkalun ominaisuusvertailuosa ja tietokanta	

SANASTO

Aspect ratio	piirilevyyn porattavan läpivientirei'än syvyyden ja läpimitan suhde
FR-4	yleinen lasikuitupohjainen piirilevymateriaali
Haudattu Via	levyn sisäkerroksissa näkymättömissä oleva läpivienti
Juotospädi	piirilevyn pinnassa oleva piste, johon juotetaan komponentti
Laminaatti	jäykäksi kovetettu komposiittimateriaali
MicroVia	erittäin pienikokoinen läpivienti piirilevyssä, alle 0,15 mm
Prepreg	pre-impregnated, hartsilla esikyllästetty komposiittimateriaali
RCCu	Resin Coated Copper, hartsilla pinnoitettu kuparikalvo
RC, Resin Content	prepreg-materiaalin hartsipitoisuus
Sokea Via	vain toiselta puolen levyä havaittavissa oleva läpivienti
Via	Vertical Interconnect Access, sähköinen läpivienti piirilevykerrosten välillä

1 JOHDANTO

Piirilevyjen valmistuksessa käytetään lukuisia erilaisia ja erikoisia materiaaleja, kuten laminaattilevyjä, prepreg-arkkeja ja kuparikalvoja. Kaikilla materiaaleilla on joukko toisistaan poikkeavia teknisiä ominaisuuksia, jotka vaikuttavat esimerkiksi materiaalista valmistettavan tuotteen sähköiseen toiminnallisuuteen. Lisäksi materiaaleihin liittyy valmistavan tehtaan sisäistä teknis-taloudellista tietoa mm. prosessi- ja viranomaishyväksynnöistä, hinnoista ja saatavuudesta.

Aspocomp Oulu Oy tilasi opinnäytetyönä toteutettavan työkalun materiaalitietojen kokoamiseen ja vertailuun. Yrityksessä materiaalitietoja tarvitsevat henkilöt joutuvat selaamaan valmistajien datalehtiä löytääkseen etsimänsä tiedon. Tällä tavalla tietojen hakeminen on hidasta ja työlästä, joten helppokäyttöiselle, tiedot keskittävälle työkalulle on todellinen tarve.

Aspocomp Oulu Oy on moderneja korkean teknologian piirilevyjä valmistava yritys. Se on perustettu alun perin vuonna 1979 nimellä Pohjois-Piiri Oy, jonka Aspo Oy osti vuonna 1986. Vuodesta 1992 asti Aspocomp Oulu on toiminut Linnanmaalla, Oulun yliopiston ja Teknologiakylän välittömässä läheisyydessä. (1, s. 1.)

Työn tavoitteena on kartoittaa käytettävien materiaalien tekniset ominaisuudet ja rakentaa niistä tietokanta, joka sisältää myös työkalun eri materiaalien helppoon vertailuun. Työkalun tulee mahdollistaa vertailu jonkin tietyn ominaisuuden perusteella, jotta esimerkiksi tietynlaista sähköistä toimivuutta varten olisi helppo valita siihen soveltuvin materiaali. (Liite 1.)

2 PIIRILEVYT

2.1 Piirilevyn rakenne

Piirilevy on alusta elektroniselle kytkennälle, joka sisältää paikat komponenteille ja niiden tarvitseman kytkennän. Piirilevyn pääosat ovat levyn runkona toimiva eristävä levymateriaali ja kytkennän muodostavat johtimet, jotka ovat kiinteästi levyn pinnassa. Nykyaikaisissa sovelluksissa johtimien määrä on usein suuri ja piirilevyn koko siihen nähden pieni, jolloin kaikkien johtimien mahduttaminen piirilevyille vaatii usein monikerrosrakenteen. Monikerroksisessa piirilevyssä on liitetty useita ohuita piirilevyjä päällekkäin, jolloin johtimille saadaan huomattavasti lisää tilaa levyn sisällä.

2.2 Johtimet

Johtimina käytetään kuparia sen hyvän sähkönjohtokyvyn ja mekaanisten ominaisuuksien vuoksi. Sitä käytetään useimmiten puhtaana kuparikalvona (foliona), mutta saatavilla on myös toiselta puoleltaan hartsilla pinnoitettuja arkkeja, joita kutsutaan RCCu-materiaaleiksi (Resin Coated Copper).

Useimmiten kuparikalvo on valmiiksi kiinni laminaattilevyn pinnassa, mutta monikerroslevyjä valmistettaessa käytetään irtonaisia kuparifolioarkkeja levyn ulkopintoihin, koska ne samalla suojaavat kuumapuristuslaitteistoa hartsivalumilta. Kuumapuristimessa kuparikalvo kiinnittyy levyn pintaan prepregin sisältämän hartsin avulla. Myöhemmässä työvaiheessa kuparia syövytetään pois siten, että tarvittavat johtimet jäävät jäljelle.

2.3 Läpiviennit

Eri kerrosten väliset kytkennät toteutetaan läpiviennein, joista käytetään termiä *Via* (*Vertical Interconnect Access*). Näistä on olemassa erilaisia variaatioita: tavallisia, sokeita, haudattuja sekä hyvin pieneen tilaan käytettäviä mikrokokoisia *Vioja*. Kaikille niille yhteistä on se, että kerrosten läpi porataan reikä, joka kuparoidaan kemiallisesti sähköisen kontaktin luomiseksi. Sokea *Via* tarkoittaa,

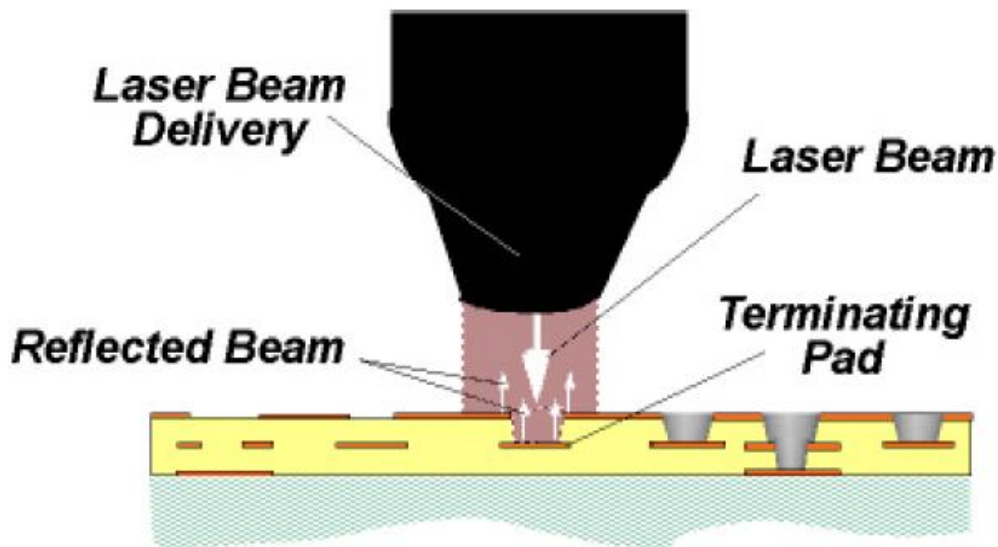
ettei reikä ulotu kaikkien kerrosten läpi. Se on havaittavissa vain levyn toiselta puolelta. Haudattu Via puolestaan on kokonaan levyn sisällä. Sokeat ja haudatut Via toteutetaan käytännössä valmistamalla levy useassa vaiheessa: ensin valmistetaan ne välikerrokset, joiden läpi läpivienti kulkee ja myöhemmin liitetään nämä kerrokset yhteen toisella kuumapuristuskerralla.

MicroViaksi kutsutaan alle 0,15 mm kokoista, yleensä laserilla toteutettua läpivientiä. Se ulottuu normaalisti yhden kerroksen läpi ja on siis sokean Vian kaltainen, mutta se voidaan valmistaa jo prässätyn piirilevyn pintaan. Menetelmässä lasersäde höyrystää eristemateriaalin halutulta alueelta. Esimerkiksi infrapunalaser voidaan säätää heijastumaan kuparipinnasta, jolloin säde pysähtyy pädiin höyrystettyään hartsin sen päältä.

Ultraviolettilaser kykenee höyrystämään myös piirilevyn tiheämpiä aineita eli käytännössä kuparia. Senkin energia kuitenkin imeytyy vielä tehokkaammin juuri hartsiin, jolloin kuparin läpi laserointi vaatii hyvin tarkat työstöparametrit, jotta reikä ei pala liian syväksi. (2, s. 5 - 8.)

Hyvin monimutkaisissa kytkennöissä MicroVioja voidaan käyttää myös sisäkerroksissa, jolloin levy joutuu kiertämään tuotantolinjalla useita kertoja, mikä lisää kustannuksia ja valmistusaikaa huomattavasti. MicroVian etuna on myös se, että se voidaan toteuttaa suoraan juotospädin kohdalle eikä sitä tarvitse porattujen reikien tavoin tehdä pädin viereen. Tämä johtuu siitä, että poratun reiän koko ja muoto aiheuttaisi kolon pädiin ja kapillaari-ilmiön komponenttia juotettaessa, joten juotoksesta tulisi huono.

Kuvassa 1 havainnollistetaan infrapunalaserilla toteutettavaa laserporaamista. IR-laser heijastuu metalleista, erityisen hyvin kuparista, joten työstö voidaan toteuttaa valmistettavaa aukkoa suuremmalla säteellä, jolloin maskiksi jätetty kupari rajaa syntyvän aukon.

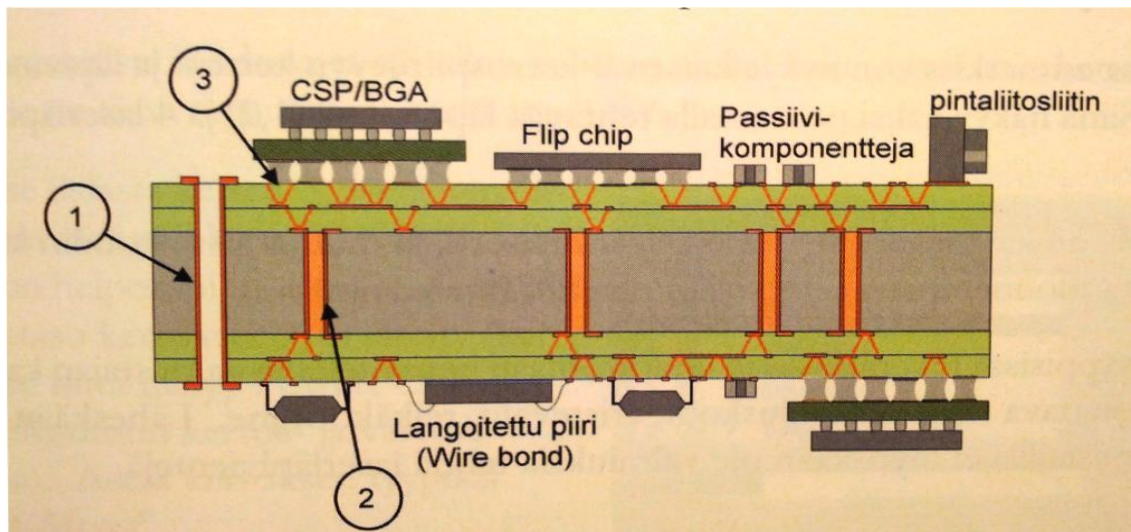


KUVA 1. Läpivientien laserointi maskia vasten infrapunalaserilla (2, s. 3)

Läpivienneissä käytettävät reikäkoot ovat yleensä 1 - 0,15 mm, mutta suuntaus on pienempään kokoon. Mitä pienempää reikää käytetään, sitä kalliimmaksi niiden valmistaminen muodostuu, koska paksummalla terällä levyaihoita voidaan porata päällekkäin pinottuna. (3, s. 98 - 99.)

Erilaisia läpivientejä käytetään siksi, että edullisimmin valmistettavat suuremman läpimitan läpiviennit käyttävät välikerroksista enemmän tilaa, ja jossain vaiheessa läpivientien määrä kasvaa niin suureksi, että on pakko käyttää pienempiä, haudattuja tai sokeita läpivientejä. Läpivientien kokoa rajoittaa myös kuparoinnin vaatima rei'än syvyyden ja läpimitan suhde (aspect ratio), joka on tyypillisesti 3 - 8 välillä. Tämä rajoitus johtuu kemiallisesta kuparoinnista, jossa kuparoivan nesteen tulee voida virrata riittävästi aukon läpi, jotta pinnoitus onnistuu. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi 1 mm paksuiselle piirilevyllä pienin suositeltava läpivienti on noin 0,3 - 0,2 mm (AR 3,3 - 5,0). 4 mm paksulla levyllä läpivientikoko voi olla 0,8 - 0,5 mm (AR 5,0 - 8,0). Pienimmät mekaanisesti porattavat rei'ät ovat läpimitaltaan noin 0,2 mm, kuparoinnin jälkeen noin 0,15 mm. (3, s. 120.)

Kuvassa 2 on Aspocompin valmistaman matkapuhelimen piirilevyn kerroskuva, jossa on erilaisia läpivientejä. Kuvan piirilevy on valmistettu vaiheittain siten, että piirilevyn ydinosa (kuvassa harmaa keskiosa) on porattu ja metalloitu ensin (2). Nämä ovat haudattuja läpivientejä. Tämän jälkeen ulkopintoihin on laminoitu kaksi kerrosparia (yksi kerros per puoli kerrallaan), joihin on tehty laserläpiviennit (3). Jokaisen laserointikierroksen jälkeen tarvitaan metallointi. Lopuksi koko levyn läpi ulottuvat (1) reiät on porattu ja metalloitu. (3, s. 120.)



KUVA 2. Matkapuhelimen piirilevyn kerrosrakenne (2, s. 121)

2.4 Pinnoitteet

Paljas kupari hapettuu helposti ollessaan tekemisissä ilman kanssa, joten juotospädit (*solder pad*) ja muut paljaat kuparipinnat suojataan pinnoitteella. Näin tehdään, koska hapettunut juotospinta johtaa sähköä heikosti sekä hylkii juoteainetta, jolloin juotoksesta tulee huono ja tuotteesta helposti viallinen. Tällaisia pinnoiteaineita ovat kulta, hopea, tina ja orgaaninen pinnoite OSP (*Organic Solderability Preservative*), joka koostuu pääasiassa muurahaishapon, etikka-hapon, ammoniakkin ja sinkkibromidin seoksesta.

Levyn ulkopinnat, johon ei juoteta komponenttia, suojataan juotteenestopinnoitteella. Sen tehtävä on hylkiä juoteainetta ja siten edesauttaa juoteaineen pysymistä juotospädillä. Sillä saadaan myös levyn ulkonäkö paremmaksi ja halutun väriseksi.

2.5 Eristemateriaalit

Eristeet ovat suuri ryhmä erilaisia polymeerejä eli muoveja, ja ne määräävät lähes kaikki piirilevyn ominaisuudet. Muovimateriaaleihin liittyy runsaasti erilaisia ominaisuuksia, joista piirilevytuotannossa merkitykselliset kuvaavat materiaalin sähköistä käyttäytymistä, mekaanista kestävyyttä tai sen rakenteen muutoksia aiheuttavia lämpötiloja.

Tyypillinen piirilevyn eristemateriaali koostuu epoksihartsin ja lasikuidun yhdistelmästä. Kuitenkin esimerkiksi radiotaajuussovelluksissa lasikuitupohjainen eriste ei välttämättä kykene riittävään eristävyYTEEN halutulla paksuudella, jolloin materiaali voidaan vaihtaa esimerkiksi teflon-keraamipohjaiseen eristeeseen. Tällaisen materiaalin mekaaninen kestävyys on kuitenkin heikompi, koska se on rakenteeltaan purukumimaista massaa eikä sisällä lujiteainetta. Lasikuitupohjainen FR-4 on edullisuutensa ja kestävyytensä vuoksi käytetyin eristetyyppi.

Piirilevytuotannossa eristeet jakautuvat kahteen ryhmään, laminaatteihin ja prepregeihin. Nämä ovat käytännössä samaa materiaalia sillä erotuksella, että laminaatti on valmiiksi kovetettu jäykäksi levyksi ja pinnoitettu kuparilla, kun prepreg on kovettamaton hartsilla kyllästetty arkki, joka kovettuu kuumapuristuksessa laminaatin kaltaiseksi levyksi. Yleensä valmistajilla on valikoimassaan tuotepareja, tietynlainen prepreg-materiaali ja sen kanssa yhtenevä laminaatti.

Tietokantaan on sisällytetty myös RCCu-materiaalit (hartsilla pinnoitettu kuparikalvo), koska niiden ominaisuudet määritellään hartsipinnoituksen vuoksi pitkälti samoin spesifikaatioin. Niitä käytetään, kun halutaan saavuttaa mahdollisimman ohut eristeväli tai levyyn tullaan laserporaamaan microvia-läpivientejä. RCCu:n käyttö on kalliimpaa kuin prepregin ja erillisen kuparikalvon, eikä sitä voida laminoida kuin kerros kerrallaan levyn ulkopintoihin.

2.6 Monikerroksiset piirilevyt

Kaksikerroslevyt olivat pitkään yleisimmin käytetty tekniikka, ja niitä käytetään edelleenkin aina kun se on teknisesti mahdollista. Kaksikerrostekniikalla voidaan toteuttaa hyvinkin mutkikkaita piirilevyjä. Raja tulee kuitenkin vastaan ennen kaikkea silloin, kun piirilevyille tulee moninastaisia piirejä, jossa nastoja on pienellä pinta-alalla paljon. Monikerroslevyt ovat nykyaikaisissa piirilevyissä jo yleisempi ratkaisu. Suuret taajuudet ja nopeat piirit ovat toinen seikka, joka voi estää kaksikerrosrakenteen käytön, vaikka se mekaanisesti olisi mahdollista. Heijastukset ja häiriösäteily kasvavat nousunopeuksien myötä, eikä tarkkaa rajaa ole. Lisäksi signaalin käyttäytymiseen vaikuttaa moni muu seikka, kuten johdinpituus ja kuormien määrä. (3, s. 119.)

Kun kaksi kerrosta ei riitä, lisätään kerroksia kaksi kerrallaan. Kerrosmäärän lisäyksestä saatava hyöty jää vähäiseksi, ellei samalla oteta käyttöön myös pienempiä läpivientejä. Kerrosmäärän kasvatus tuo lisää tilaa johtimille aina 8 - 10 kerrokseen asti. Tämän jälkeen kerrosmäärän lisäys ei yleensä auta, koska pienetkin läpiviennit tukkivat johdotustilan. Tällöin joudutaan turvautumaan haudattuihin- ja laserläpivienteihin. Monikerrospiirilevy on sähköisiltä ominaisuuksiltaan kaksi- ja yksikerrospiirilevyjä huomattavasti parempi, koska välikerrokseen sijoitettavat laajat tasomaiset jännitejohtimet auttavat tehonsyötössä ja ne torjuvat myös häiriöitä toisista kerroksista tehokkaasti. Mekaaninen kestävyys on myös kaksikerroslevyjä parempi. (3, s. 120 - 121.)

2.7 Prepregien ja laminaattien käyttö

Monikerroksisten piirilevyjen valmistuksessa käytetään apuna prepreg-arkkeja. Kun laminaatista valmistettuja, valmiiksi syövytettyjä piirilevyn välikerroksia liitetään toisiinsa, prepregin hartsi toimii samanaikaisesti kerrokset yhteenliittävänä osana sekä eristeenä yhdessä kuitulujitteen kanssa. Käytännössä nämä välikerrokset ladotaan tarkasti kohdistettuna päällekkäin ja jokaiseen väliin asetetaan yksi tai useampi prepreg-arkki. Arkin tyyppi ja kappalemäärä riippuu halutusta sähköisestä toiminnasta. Kun kaikki kerrokset on ladottu päällekkäin, ne

niitataan toisiinsa ja asetetaan kuumapuristimeen, jossa prepregien hartsi kovettuu ja samalla kiinnittää välikerrokset ja levyn ulkopintoihin tulevat kuparikalvot toisiinsa tiiviiksi ja jäykäksi levyksi.

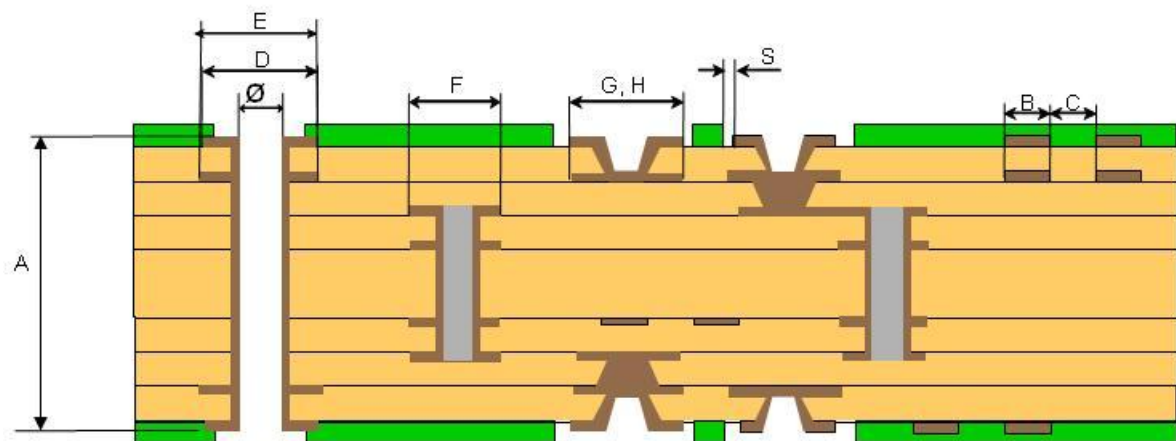
Laminaatit ovat molemmin puolin kuparoituja jäykkiä levyjä joita käytetään yksikerroksisten piirilevyjen ja monikerroslevyjen välikerrosten materiaalina. Laminaatteja toimitetaan useina eri paksuuksina ja eri paksuisin kuparipinnoittein. Paksumpia laminaatteja (> 0,5 mm) käytetään pääasiassa 1 - 4-kerrospiirilevyjen valmistuksessa, jotta lopullisen tuotteen paksuus ja sitä kautta mekaaninen jäykkyys muodostuu riittäväksi. Lisäksi paksu laminaatti antaa paremman eristävyys, joten tilan salliessa sitä voidaan käyttää häiriöiden ja häviöiden vähentämiseen korkeataajuustuotteissa. Ohuimmat laminaatit ovat vain noin 0,05 mm paksuisia ja niitä käytetään kun välikerrosten lukumäärä on suuri ja valmiin piirilevyn tavoiteltu lopullinen paksuus ohut.

Esimerkkilevy kuvassa 3 on 22-kerroksinen ja sisältää ainoastaan tavallisia, koko levyn läpi meneviä läpivientejä. Sen välikerrokset koostuvat kymmenestä 0,10 mm paksuisesta FR-4-laminaatista, jotka kukin koostuvat yhdestä 2116-kuitumatosta. Ne ovat pinnoitettu molemmin puolin 18 µm kuparikalvoilla. Prepreg-arkit ovat 70 % hartsipitoisuuteen kyllästettyjä, yhdestä 106-kuitumatosta valmistettuja erittäin ohuita FR4-arkkeja ja niitä on kaksi jokaisen laminaatin välissä. Levyn tavoiteltu kokonaispaksuus on 2,4620 mm.



KUVA 3. 22-kerroksisen piirilevyn kerroskuva

Tavoiteltuun kokonaispaksuuteen vaikuttaa pääasiassa levyn käyttötarkoitus, esimerkiksi tietynkokoinen hahlo asennuskaapissa, mutta sähköiset ominaisuudet määräävät alarajan. Esimerkiksi suurempia jännitteitä tai taajuuksia käytettäessä eristävyys täytyy myös olla suurempi, jolloin tarvitaan paksumpi eriste tai suuremman dielektrisyysarvon materiaali. Eri eristemateriaaleja on myös mahdollista yhdistää ja käyttää suuren eristearvon materiaalia vain niissä välikerroksissa, joissa se on tarpeen. Aspocompin tuotantomenetelmillä monikerroslevyn paksuus voi olla 0,4 - 4,5 mm. Kuvassa 4 on taulukoitu Aspocompilla valmistettavien piirilevyjen mittojen raja-arvot.



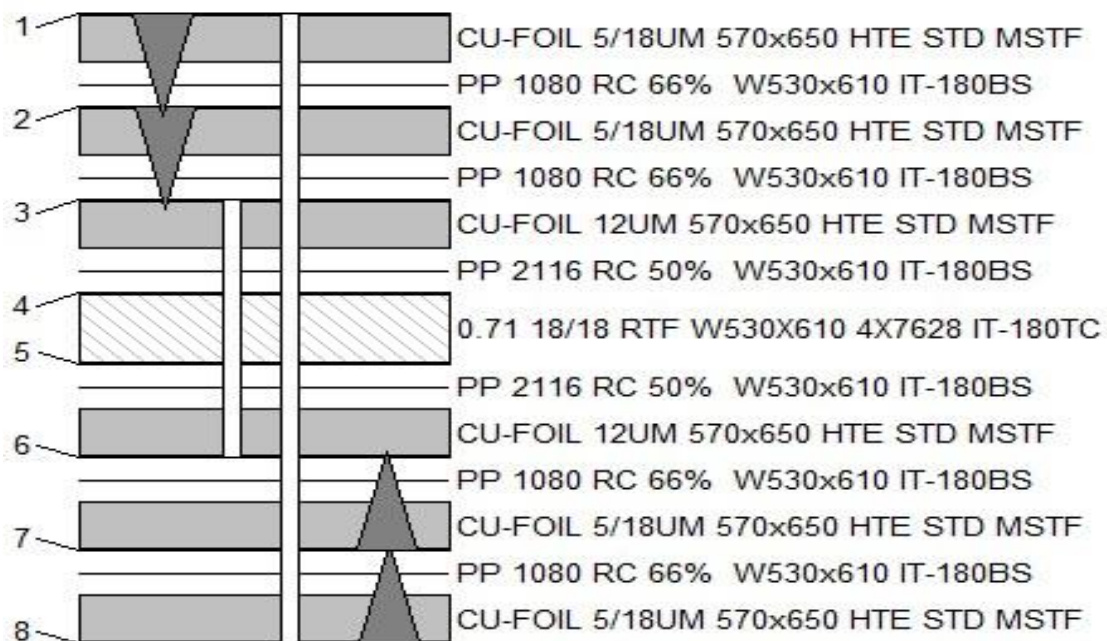
PCB thickness		0,4 - 4,5mm	A
Max layer count		28	
Max PCB size		499 x 580mm	
Max aspect ratio		15	A / Ø
Min conductor width	Copper thickness $\leq 25 \mu\text{m}$	50 μm	B
Min space	Copper thickness $\leq 25 \mu\text{m}$	50 μm	C
Min pad size	Via hole, outer layer	$\varnothing + 250 \mu\text{m}$	D
	Via hole, inner layer	$\varnothing + 250 \mu\text{m}$	E
	Buried holes	$\varnothing + 250 \mu\text{m}$	F
	Laser hole, surface pad	220 μm	G
	Laser hole, inner layer pad	220 μm	H
Solder mask registration		$\pm 37 \mu\text{m}$	S

KUVA 4. Aspocompilla valmistettavien piirilevyjen mittojen raja-arvot

Kuvassa keltaiset alueet osat ovat eristekerroksia, ruskeat johtimia ja vihreä ulkopinta on levyn ulkopintaan ulkopintaan painettava juotteenestopinnoite. Levy on 8-kerroksinen, kerrosten 3 - 6 välissä on haudattuja läpivientejä.

Kuvassa 5 on kuvan 4 kaltaisen piirilevyn kerroskuva. Tällaisia kuvia käytetään tuotannon työmääräimissä havainnollistamaan materiaalien käyttö ja läpivientien toteutus kyseisessä työssä. Kuvasta ilmenee, että ainoastaan ydinkerros on toteutettu paksun 0,71 mm laminaatin avulla, jossa on 18 μm kuparipinnoite. Loput välikerrokset syntyvät prepregien ja kuparifolioiden avulla. Ydinkerroksen pintaan on aluksi syövytetty kerrosten neljä ja viisi johtimet, minkä jälkeen sen pintaan laminoidaan ensimmäisellä prässäyskerralla 12 μm kuparifoliot 2116 RC 50% -prepregien avulla. Seuraavaksi pintaan siirretään johdinkuvio, se syövytetään ja siihen valmistetaan haudatut läpiviennit. Tämän jälkeen pintoihin laminoidaan ohuemman prepregin avulla 5 μm kuparifoliot. Koska 5 μm folio on

hyvin ohut ja siksi erittäin herkkä repeämään, se toimitetaan kiinnitettynä 18 µm apufolioon, joka irroitetaan prässäyksen jälkeen, siitä merkintä 5/18 µm. Levy kiertää jälleen kuvionsiirto- ja läpivientiprosessin, tällä kertaa läpiviennit ovat laseroitavia microVioja. Tämän jälkeen levy palaa kolmannen kerran prässäämöön ja viimeiset kuparikalvot laminoidaan levyyn ja levy pääsee uloimman kerroksen kuvionsiirtoon ja syövytykseen. Viimeisellä kierrolla porataan tavalliset läpiviennit ja ulkokerrosten laserläpiviennit. Tällä tavalla toteutettu levy kiertää tuotannossa useita kertoja, joten sen läpimenoaika on pitkä ja hinta siksi myös korkea.



Kokonaispaksuus: 1,2260

KUVA 5. 8-kerroksisen piirilevyn kerroskuva

3 SPESIFIKAATIOIDEN MÄÄRITELMÄT

3.1 T_g

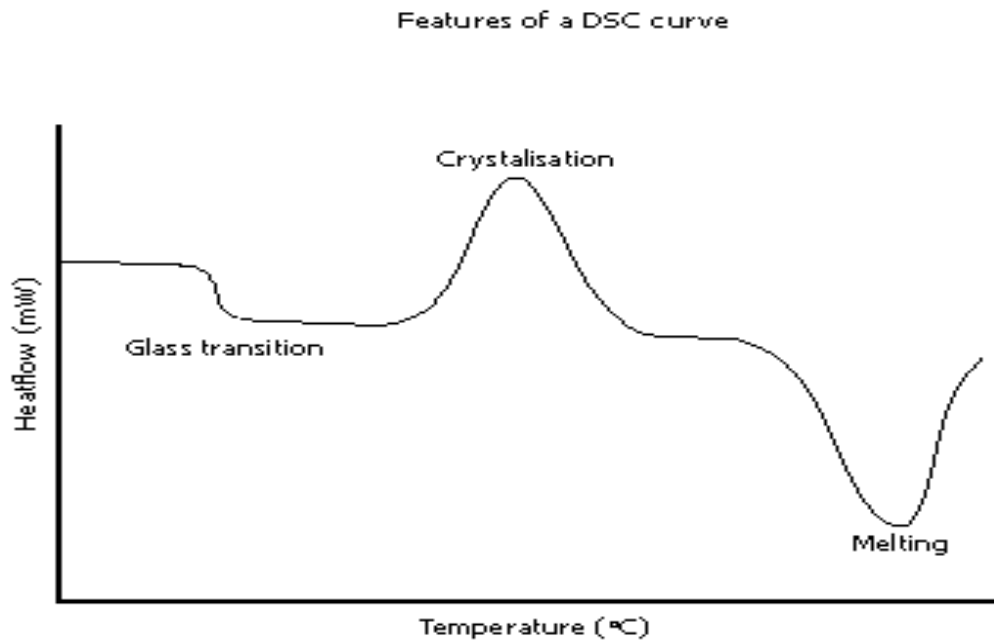
Kaikki amorfiset ja osittain kiteiset polymeerit saavuttavat sulasta jäähdytettävässä lämpötilan, jossa ei-kiteisen komponentin molekyyliliike estyy ja materiaali muuttuu lasin kaltaiseksi. Tätä lämpötilaa sanotaan lasittumislämpötilaksi, T_g (*Temperature, glasstransition*). Lasittumislämpötilan alapuolella saattaa esiintyä lyhyempien ketjusegmenttien ja sivuhaarojen pienimuotoista liikettä. (4, s. 58.)

Lasittumislämpötilan merkitys polymeerin termiseen ja mekaaniseen käyttäytymiseen on erittäin suuri. Lasittumislämpötilassa muuttuu polymeerin kimmomoduuli, tiheys, lämpölaajeneminen, ominaislämpö, mekaaninen vaimennus, dielektrisyysvakio ja taitekerroin. (4, s. 58.)

Termi on lähtöisin lasin käyttäytymisestä, sillä lasi on huoneenlämmössä kiinteää, mutta kuitenkin jonkin verran joustavaa. Lämmitettäessä tietyn lämpötilan yli (noin 700 °C), se muuttuu elastiseksi ja sitä voidaan muotoilla. Lämpötilan noustessa viskositeetti alenee ja noin 1000 - 1200 celsiusasteessa se on jähmeää nestettä ja yli 1300 celsiusasteessa juoksevaa. Olomuodon muutokset eivät siis tapahdu tietyssä lämpötilassa, vaan laajalla lämpötila-alueella.

3.2 T_g /DSC

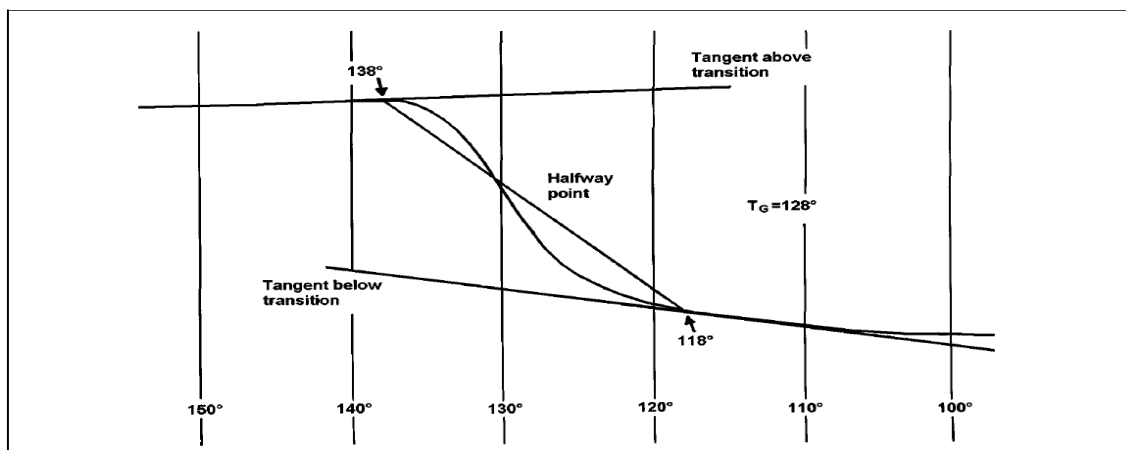
T_g /DSC tarkoittaa lasitransitiolämpötilaa, joka on määritetty käyttäen menetelmänä differentiaalista pyyhkäisykalorimetriaa (*Differential Scanning Calorimetry*). Menetelmällä löydetään myös materiaalista riippuen sen kiteytymis- ja sulamislämpötila. Kuva 6 havainnollistaa DSC-käyrää. Siinä pystyakselilla on lämpövirta eli lämpöenergian määrä ja vaaka-akselilla kappaleen lämpötila.



KUVA 6. Differentiaalikolorimetriakäyrä ja siitä ilmenevät materiaalin rakennemuutokset

DSC-menetelmässä tutkittavaa kappaletta lämmitetään tai jäähdytetään tasaisella nopeudella ja mitataan siihen kulunutta tai siitä vapautunutta energiaa, toisin sanoen materiaalin lämpökapasiteettia. Kun materiaalin absorboiman energian määrässä näkyy muutos, on materiaalin lasitransitio alkanut.

Tarkka arvo määritellään kuvaajasta piirtämällä ensin kuvaajan tangentit ennen transition alkua ja sen loputtua, minkä jälkeen kuvaajan ja tangenttien erkane-
miskohdat kertovat lasitransition alkamis- ja loppumislämpötilan. T_g/DSC -arvo on muodostuneiden arvojen keskiarvo. Kuva 7 havainnollistaa arvon määrittelyä.



KUVA 7. Lasitransitiolämpötilan määrittely differentiaalikolorimetrikuvaajalta (5, s. 3)

Differentiaalinen pyyhkäisykalorimetria, DSC, syntyi 1960-luvun alussa DTA-menetelmän (*Differential Thermal Analysis*) rinnalle. Molemmilla menetelmillä voidaan määrittää näytteestä vapautuva tai näytteen sitoma energia lämpötilan tai ajan funktiona. Tutkittava ilmiö antaa joko piikin tai perusviivan muutoksen analyysikäyrään. Muutoksen suunnasta voidaan päätellä, onko reaktio endo- vai eksotermien, sijainnista käyrällä todeta tapahtumislämpötila ja muutosalueen pinta-alasta entalpian muutoksen suuruus.

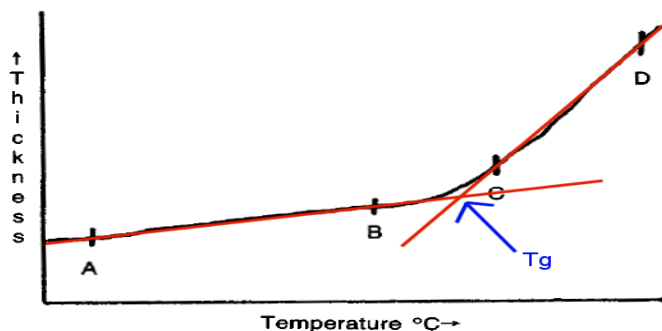
DSC:n toiminta perustuu näyte- ja vertailu-upokkaan lämpötilaeron mittaamiseen. Mittaustulos ohjaa lämmitysvastuksia, joiden avulla näytteen ja vertailu-
aineen lämpötila pidetään samana. Tätä varten joko näytteeseen (endotermiset reaktiot) tai vertailuaineeseen (eksotermiset reaktiot) tuodaan tarvittava lämpö-
energiamäärä. Tämä energian määrä mitataan ja tuloksena saadaan DSC-
käyrä, josta ilmenee näytteen aikayksikössä sitoma tai luovuttama energia
lämpötilan funktiona. (5, s. 1 - 3.)

3.3 T_g /TMA

T_g /TMA ilmaisee lasitransitiolämpötilan, joka on määritetty käyttäen termomekaanista analyysiä (*Thermal Mechanical Analysis*). Siinä missä DSC on epäsuora tapa määrittää lasitransitiolämpötila, TMA-menetelmässä tutkitaan kappaleen fyysisten mittojen muutoksia lämpötilan funktiona. Siinä testikappale sijoitetaan lepäämään lämmittimeen ja sen päälle asetetaan kvartsisauva, jonka toinen pää on liitetty erittäin herkkään mittalaitteeseen.

Kvartsia käytetään mittausvirheen minimoimiseksi sen hyvin pienen lämpölaajenemiskertoimen vuoksi. Kun kappaletta lämmitetään, välittyy lämpölaajeneminen kvartsisauvan avulla mittalaitteen sensoriin. Lasitransitiolämpötilassa lämpölaajenemiskerroin muuttuu, joka ilmenee kuvaajan kulmakertoimen muutoksena. Tämä soveltuu erityisen hyvin piirilevymateriaalien tutkimiseen, koska se on helppo sovittaa eri paksuisille testattaville materiaaleille, ja koska materiaalin paksuussuunnassa tapahtuva lämpölaajeneminen on erityisen kriittinen ominaisuus piirilevyn luotettavuuden kannalta.

Kuvaajalta valitaan neljä pistettä suoralta osalta, kaksi pistettä ennen muutosta ja kaksi pistettä muutoksen jälkeen. Näiden pisteiden läpi piirretään trendiviivat ja niiden risteämispiste määrittää T_g -arvon. Samalta kuvaajalta voidaan laskea lämpölaajenemiskerroin Z-akselin suunnassa T_g -lämpötilan ylä- ja alapuolella. Kuvassa 8 on mittauskäyrältä määritetty T_g -piste. Punaisten viivojen kulmakerroin kertoo lämpölaajenemisen. (6, s.1 - 3.)



KUVA 8. Lasitransitiolämpötilan määrittely TMA-kuvaajalta (6, s. 2)

3.4 T_d

T_d (*Temperature, decomposition*) tarkoittaa lämpötilaa, jossa materiaalin molekyylirakenteet alkavat hajota eli materiaaliin aiheutuu peruuttamattomia muutoksia. Toisin sanoen materiaali tuhoutuu.

3.5 $T_d/TGA\ 5\%$

$T_d/TGA\ 5\%$ -arvo tarkoittaa TGA-menetelmällä (*Thermal Gravimetric Analysis*) mitattua lämpötilaa, jossa materiaali on menettänyt massastaan 5 %, eli materiaalia on haihtunut testikappaleesta.

Termogravimetriassa tarkkaillaan testikappaleen massaa samalla kun sitä lämmitetään tasaisella nopeudella (10 astetta minuutissa) huoneenlämmöstä 550 celsiusasteen lämpötilaan saakka. Kun materiaali saavuttaa sille kriittisen lämpötilan, sen polymeeriketjut alkavat hajota, jolloin osa materiaalista haihtuu ja kappaleen massa pienenee. (7, s. 1 - 2.)

3.6 T_{260} ja T_{288}

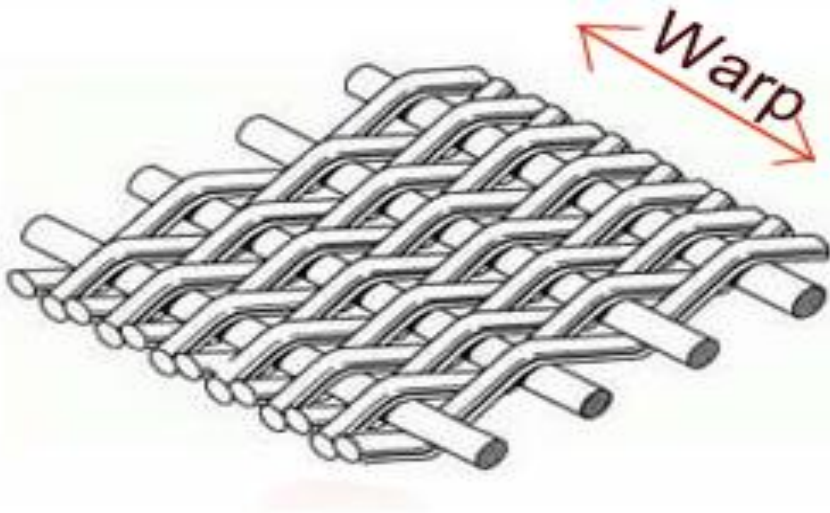
T_{260} ja T_{288} (*Time to delamination @ 260°C / 288°C*) tarkoittaa aikaa, kuinka kauan materiaali kestää 260 tai 288 celsiusasteen lämpötilassa ennen kuin sen kerrokset irtoavat toisistaan eli delaminoituminen alkaa.

Arvo määritellään termomekaanisella analyysillä. Kappaleen lämpötilaa nostetaan tasaisesti 10 celsiusastetta minuutissa, kunnes kappale saavuttaa tavoitellun 260 tai 288 celsiusasteen lämpötilan. Tämän jälkeen lämpötila pidetään vakiona ja mitataan aika siihen, kun kappaleeseen aiheutuu palautumattomia muodonmuutoksia. (8, s. 1 - 2.)

3.7 CTE

CTE X-axis, CTE Y-axis (*Coefficient of Thermal Expansion*) kertoo materiaalin lämpölaajenemiskertoimen. Arvo ilmoitetaan erikseen x- ja y-suunnassa, koska esimerkiksi FR-4-laminaattien kuitulujite aiheuttaa materiaaliin anisotropiaa. Lu-

jite on mattomaisesti punottua, jolloin loimisuunnassa kuidut ovat suoria ja kudesuunnassa kulkevat edellä mainittujen väleissä. Warp-suunta eli loimisuunta ja kuidun kuderakenne on havainnollistettu kuvassa 9. Lämpölaajeneminen on vähäistä, joten yksikkö on ppm/°C, eli miljoonasosaa yhtä celsiusastetta kohden.



KUVA 9. Kuitulujitteen kuderakenne ja warp-suunta eli loimisuunta

CTE Z-axis <T_g, **CTE Z-axis >T_g** kertoo materiaalin lämpölaajenemiskertoimen Z-akselin suhteen, eli levyn paksuussuunnassa. Lämpölaajenemiskerroin muuttuu lasitransitilämpötilan ylittyessä, joten arvo ilmoitetaan molemmissa tapauksissa erikseen. Arvot määritellään matemaattisesti samalta TMA-kuvaajalta kuin T_g/TMA, laskemalla kuvaajan kulmakerroin. Kuvassa 8 on kuvaajan suorille osille määritellyt alku- ja loppupisteet. Kulmakerroin lasketaan pisteiden A - B väliltä (<T_g) ja pisteiden C - D väliltä (>T_g). (6, s. 2.)

Esimerkiksi CTE (<T_g) lasketaan seuraavasti:

$$CTE < T_g = \frac{\text{paksuus } B - \text{paksuus } A * 10^6}{\text{paksuus } A (\text{lämpötila } B - \text{lämpötila } A)}$$

3.8 D_k

D_k (*Dielectric constant, dielektrisyysvakio*) eli suhteellinen permittiivisyys kertoo aineen eristävyyden suhteessa tyhjiöön. Suurempi arvo tarkoittaa suurempaa eristävyyttä.

Elektroniikassa käytettävien eristeiden D_k on yleensä välillä 2,5 - 10,0. FR-4-materiaaleilla se on tyypillisesti noin 4,5 - 5,5. Vertailuesimerkkinä paperin dielektrisyysvakio on 2,0 - 2,8, lasin 3 - 7 ja veden noin 80. (9, s. 1.) D_k määritetään matemaattisesti laminaattinäytteen kapasitanssimittauksen tuloksesta (10, s. 1).

3.9 D_f

D_f (*Dissipation factor, häviökerroin*) kertoo eristeen aiheuttamasta tehohäviöstä kytkennässä. Eristeessä tasasähköjännite ei aiheuta sähkövirtaa, mutta ulkopuolinen sähkökenttä pakottaa aineen poolisia molekyylejä kääntymään kentän suuntaisesti. Vaihtojännitteellä molekyylit kääntävät suuntaansa jatkuvasti ja kitkavoimat aiheuttavat materiaalin lämpenemistä. Mitä suuremmalla taajuudella sähkökenttä vaihtaa suuntaansa, sitä nopeammin molekyylienkin suunta kääntyy ja lämpeneminen on voimakkaampaa. Esimerkiksi mikroaaltouunin toiminta perustuu tähän ilmiöön. D_f määritellään matemaattisesti testikappaleen konduktanssimittauksen tuloksista (11, s. 1 - 5).

3.10 Curing system

Curing system tarkoittaa materiaalin kovetusmenetelmää. Fenolinen kovettaminen (*Phenolic*) perustuu fenolin ja formaldehydin muodostamiin molekyylisidoksiin. Kaupallisia fenolimuoveja ovat esimerkiksi *Bakeliitti* ja *Novolac*.

Kovetinaineena niissä käytetään yleisimmin heksaametyleenitetramiinia, jolloin erillistä katalyyttiä ei tarvita, vaan kovettuminen tapahtuu 65 - 105 asteessa. Kovettunut materiaali sietää korkeita käyttölämpötiloja, joten se soveltuu lyijyttömän juotosprosessin korkeisiin lämpötiloihin hyvin. (12, s. 1.)

DICY-kovetusmenetelmässä epoksihartsin kovetinaineena on disyaanidiamidia, joka on kiinteää, hienoa valkoista jauhetta. Se kovettuu 160 - 180 celciusasteessa noin 60 minuutissa. (13, s. 5.)

Non-DICY-kovettamismenetelmässä epoksihartsin kovetinaineena on jokin muu kuin disyaanidiamidi. Lämmössä kovettuvia vaihtoehtoja ovat esimerkiksi modifioitu imidatsoli ja booritrifluoridimonoetyyliamiini (BF_3 -MEA). Syynä eri kovettimien käyttöön on saavutettava korkeampi lasitransitilämpötila kuin *dicy*-kovettimella, mikä on tarpeen nykyisissä lyijyttömissä juotosprosesseissa. (13, s. 5.)

3.11 Filler

Fillerit eli täyteaineet ovat lisäaineita, joita voidaan lisätä materiaaliin esimerkiksi lisäämään sen mekaanista lujuutta tai parantamaan eristeominaisuuksia. Yleinen syy täyteaineiden käytölle on myös materiaalin valmistuskustannusten alentaminen. (13, s. 7.)

3.12 Peel strength

Peel strength kertoo, millä voimalla kuparointi repeytyy irti. Se mitataan vetolujuuskokeella tietyllä tavalla muotoillusta koekappaleesta. Tyypillinen arvo on 0,8 - 1,5 N/mm². (14, s. 1 - 3.)

3.13 Moisture absorption

Moisture absorption ilmaisee, paljonko kosteutta materiaaliin voi imeytyä. Arvo mitataan punnitsemalla kuivattu 50,8 mm * 50,8 mm testikappale, upottamalla se tislattuun veteen 24 tunnin ajaksi ja punnitsemalla kappale tämän jälkeen uudelleen. Punnitus suoritetaan 0,1 milligramman tarkkuudella ja arvo lasketaan mittausten erotuksesta. (15, s. 1.)

4 TIETOKANTATYÖKALUN TOTEUTTAMINEN

4.1 Esivalmistelut

Tilaajan määrittelemä tavoite työlle oli kartoittaa yrityksen tärkeimmät sisäiset tarpeet tuotetiedolle, joka pitäisi olla kaikista yrityksen tuntemista materiaaleista helposti saatavilla sekä rakentaa Excel-pohjainen työkalu materiaalien ominaisuuksien vertailuun. Lisäksi projektissa tuli määrittää työkalun ylläpitovastuut eri vastuuhenkilöille. Tilaajan aikatauluvaatimus työn suorittamiselle oli saada valmis työkalu käyttöön kalenterivuoden 2010 loppuun mennessä.

Työn aloituspalaveri pidettiin 30.3.2010, jossa työn päävaiheista luonnosteltiin alustava aikataulu ja määriteltiin projektiin liittyvät henkilöt. Lopullinen tavoite-aikataulu kirjattiin projektisuunnitelmaan, joka hyväksyttiin 21.4.2010.

4.2 Materiaalitietojen selvittäminen

Työkaluun kerättävien tietojen kartoitus aloitettiin käymällä läpi kaikki tuote-esitetiedostot, jotka materiaalivalmistajat olivat tuotteistaan tilaajayritykseen toimittaneet. Yhteistyössä projektiryhmän kanssa luotiin lista spesifikaatioista, jotka ovat olennaisia materiaalivalintaa tehtäessä. Tämä toteutettiin kierrättämällä lista sähköpostitse eri osastojen vastuuhenkilöillä, jolloin jokainen osasto sai esittää tietokantaan itselleen merkityksellisiä ominaisuuksia. Lopulta osastot kiertänyt lista käytiin palaverissa läpi, jolloin se karsiutui lopulliseen muotoonsa.

Tietokantaan valikoitui sähköisiä ja mekaanisia arvoja, saatavilla olevia kokoja, erilaisia testihyväksyntätietoja, sekä tehtaan sisäisiä prosessointiohjeita, yhteensä noin 50 tietokenttää. Liitteen 2 kuvassa näkyvät kaikki työkalun tietokentät.

4.3 Tietojen tutkiminen ja työkalun suunnittelu

Listauksen valmistumisen jälkeen ryhdyttiin hahmottelemaan Excel-pohjaista tietokantaa, jossa tiedot olisivat loogisessa ja selkeässä järjestyksessä, ja johon pystyisi mahdollisimman vaivatta lisäämään kymmenistä eri tuotteista nämä listatut ominaisuudet. Lisäksi tietokannan yhteyteen suunniteltiin toteutettavaksi vertailutyökalu, joka keräisi vertailtavat tiedot automaattisesti tietokannan sarakkeista.

4.4 Vertailutyökalun kehittäminen

Vertailutyökalu päädyttiin lopulta toteuttamaan kahdenlaisena versiona. Toisessa valitaan pudotusvalikosta tietty *ominaisuus*, jolloin työkalu tuottaa palkkikaavion, josta ilmenee kyseisen ominaisuuden arvo kaikkien tietokannassa olevien tuotteiden osalta. Palkkikaaviosta näkee nopeasti yhdellä silmäyksellä, millä tuotteilla valittu arvo on korkea tai matala. Tämä mahdollistaa tuotteiden yksinkertaisen valinnan jatkovertailuun. Työkalussa ominaisuusvertailuikkunoita on kolme, jotta useampi ominaisuus saadaan palkein esille yhtäaikaaisesti. Kuva työkalusta on liitteessä 3.

Toinen vertailutyökalu puolestaan tarjoaa kolme saraketta, joihin pudotusvalikoista poimitaan ominaisuuden sijaan *tuote*, josta työkalu näyttää rinnakkain kaikki listatut ominaisuudet. Tällä mahdollistetaan tuotteiden kokonaisvaltainen rinnakkainvertailu havainnollisella tavalla. Työkalusta on kuva liitteessä 3.

Nämä työkalut on sijoitettu Excel-taulukossa eri välilehdille. Itse tietokanta on myös omalla välilehdellään, josta vertailutyökalut noutavat tietonsa. Liitteessä 3 on kuvakaappaus tietokannan rakenteesta.

Ominaisuuslistauksesta eriytettiin vielä kyselylomakkeena toimiva taulukko, josta tiedot voi siirtää työkalun tietokantaan kopioi-liitä-menetelmällä. Lisäksi se yhdenmukaistaa tuotetiedot eri valmistajien suhteen, koska useat spesifikaatiot voidaan ilmaista eri yksiköin tai eri olosuhteissa mitattuna. Kyselylomake määrittelee mittaolosuhteet, joissa tieto tulee olla mitattu.

5 KEHITYSTYÖN TULOKSET

Työn tuloksena kehitettiin prepreg- ja laminaattimateriaaleista Excel-pohjainen tietokanta, johon sisältyi tilaajan asettamat vaatimukset täyttävä vertailutyökalu eri materiaalien vertailuun. Työkalun ylläpitovastuut määriteltiin projektiryhmässä olleille henkilöille ja ne kirjattiin omaan sarakkeeseensa työkalun sisään. Tietokantatyökalu valmistui asetetussa aikataulussa, ja se on ollut käytössä nyt noin 18 kuukautta. Sinä aikana siihen on kertynyt noin 40 tuotteen tiedot. Tietokannan täydentämisestä kaikkien tuotteiden tiedoilla ei pidetty tarpeellisena työkalua luodessa, vaan tuotetietoja on lisätty siihen sitä mukaa kun eri tuotteita on tilaajayrityksessä käytetty.

Kuvassa 9 esitetään tuotteiden rinnakkainvertailuosio. Siitä nähdään myös kaikki tietokantaan sisällytetyt tiedot tuotteista. Kuva on suurempana liitteessä 2. Ominaisuusvertailutyökalun ulkoasu sekä tietokannan rakenne esitetään liitteessä 3.

	A	B	C	D
1	Material comparison tool - ASPOCOMP	EH-32R(5)	EH-82S	IT-1585C
2	Item order number	65	77	45
3	Material type	Mid-Tg FR4	Mid-Tg FR4	MTg lead free
4	Manufacturer	EMC	EMC	ITEQ
5	Related product (prepreg)	EM-32R(5)	EM-825B	IT-1585S
6	Price example 0.45-0.55 18/18 (1m2)	11,671	11,671	11,881
7	Is material still in production / for how long?	in production	in production	Yes, since 2004
8	Price index	100	100	102
9	Product used before in Aspocomp?	YES	YES	NO
10	Available sizes:			
11	460x610	Yes	Yes	Yes
12	508x610	Yes	Yes	Yes
13	530x610	Yes	Yes	Yes
14	Other?	0	0	0
15	UL approval	Yes	Yes	Yes
16	Dk at 1MHz (given by supplier) RC 50%	4,7	4,9	53%; 4,2
17	Dr at 1MHz (given by supplier) RC 50%	0,022	0,015	53%; 0,017
18	Dr at 1GHz (given by supplier) RC 65%	0,024	0,019	62%; 0,019
19	Dk at 1GHz (given by supplier) RC45%	4,1	4,8	46%; 4,1
20	Dk at 1GHz (given by supplier) RC85%	3,7	4	62%; 4,0
21	Dk at 10 GHz	3,8	4,2	53%; 3,7
22	Dr at 10 GHz	0,024	0,021	53%; 0,020
23	Tg(DSC)	150	150	> 150
24	Tg(TMA)	140	140	> 140
25	Td(TGA 5% weight loss)	340	340	> 340
26	T260min	>60>60	>60>60	>60
27	T288min	15/25	15/25	>20
28	CTE X-axis	13	12	11/13
29	CTE Y-axis	15	15	15
30	CTE Z-axis > Tg	60	50	40
31	CTE Z-axis < Tg	300	260	250
32	Curing system	PN	PN	Modify-PN
33	Filler	Yes	Yes	Yes
34	Peel strength (IPC TM650 2.4.8.) (N/mm2)	14-1,75	14-1,75	> 7
35	Moisture absorption (IPC TM-650 2.6.2.1)	0,14	0,1	<0,11
36	UL approval at Aspocomp	YES	No	YES
37	Process approval at Aspocomp			
38	Process approval files	N/A	0	N/A
39	Processing guidelines	0	0	0
40	Program to use in hotpress?	YES	YES	YES
41	Need of pulpers in processes concerning thickness?	NO	NO	NO
42	Need of furnace before hotpress?	NO	NO	NO
43	Need of special racks while furnacing mask?	NO	NO	NO
44	Special guidelines in inner layer etching (Speed)?	NO	NO	NO
45	Special guidelines in AOI?	NO	NO	NO
46	Special guidelines in riveting?	NO	NO	NO
47	Special guidelines in drilling/machining - parameters	FR4 param.	FR4 param.	FR4 param.
48	Laser drillable?	YES	YES	YES
49	Is brushing allowed?	YES	YES	YES
50	Is gold plating possible?	YES	YES	YES
51	Plasma etch needed (yes or no)?	NO	NO	NO
52	Does galvanizing require aprons?	NO	NO	NO
53	Will Targomat find the alignment markings?	YES	YES	YES
54	ATG - Internal resistance problems that disappear w	NO	NO	NO
55	Gold-Aurodip?	YES	YES	YES
56		#REF!	#REF!	#REF!
57				

KUVA 9. Työkalun tuotevertailuosio

Seuraavassa on lueteltu tietokantaan valitut ominaisuudet esiintymisjärjestyksessään sekä perustelu niiden valinnalle:

- Materiaalin nimi on välttämätön tieto materiaalin tunnistamiseksi.
- Materiaalityyppi antaa suunnittelijalle yleiskuvan materiaalista.
- Valmistajan nimi on välttämätön tieto materiaalia tilattaessa.
- Liittyvä tuote (laminaatti - prepreg) nopeuttaa tuoteparien tilaamista.
- Hinta on olennainen tieto tarjous- ja kustannuslaskennassa.
- Tuotantotilanne kertoo, joudutaanko tuotteelle etsimään pian korvaaja.
- Saatavilla olevat koot -tieto on tarpeen, koska tuotannon apuvälineet ovat arkkikokoisia.
- UL-hyväksyntä kertoo tuotteen (palo)turvallisuudesta ja edesauttaa lopputuotteen markkinoillepääsyä.
- D_k - ja D_f -arvo vähintään kahdella taajuudella ja hartsipitoisuudella mitattuna mahdollistaa arvioimisen myös muilla taajuuksilla tai hartsipitoisuuksilla. Ne kertovat materiaalin sähköisestä käyttäytymisestä.
- T_g /DSC ja T_g /TMA ovat olennaisia, koska levyn lämpötila ei saa ylittää lasitransitiolämpötilaa juotosprosessin aikana, mikä on erityisen tärkeää nykyisessä lyijyttömässä juotosprosessissa, jossa lämpötilat ovat korkeita.
- T_d /TGA 5% weight loss kertoo lämpötilan, jota ei voida ylittää materiaalia prosessoitaessa.
- T260 ja T288 kertoo delaminoitumisajan, joka on olennainen tieto arvioitaessa materiaalin soveltuvuutta tuotteen juotosprosessiin.
- CTE X-axis, CTE Y-axis, CTE Z-axis $<T_g$ ja CTE Z-axis $>T_g$ kertovat lämpölaajenemisesta, joka etenkin Z-akselilla on kriittinen tuotteen mekaanisen kestävyyskannalta.
- Kovetusmenetelmä on olennainen tieto, koska eri koveteaineet vaativat hyvin erilaiset prosessiasetukset.
- Täyteaineiden läsnäolo muuttaa materiaalin ominaisuuksia.

- Kuparoinnin irtoamislujuus kertoo piirilevyn mekaanisesta kestävydestä.
- Kosteuden imeytyvyys kertoo materiaalin soveltuvuuden kosteisiin olosuhteisiin.

Edellä listattujen teknisten tietojen lisäksi työkaluun kirjattiin tehtaan sisäisiä prosessointiohjeita, esimerkiksi soveltuvuus laseretsaukseen, mahdolliset ongelmat tiettyjen tuotantolaitteiden kanssa tai kuumapuristuksessa käytettävä puristusohjelma. Kaikki tietokentät näkyvät liitteen 2 kuvassa.

6 YHTEENVETO

6.1 Työn päätarkoitus

Keskeisimpänä tavoitteena työssä oli koota eri valmistajien laminaattien ja pre-pregien tuotetieto yhteen paikkaan siten, että niiden keskinäinen vertailu on helppoa. Oli määritelty, että pohjana käytetään Microsoftin tarjoamaa Excel-
taulukkolaskentaohjelmistoa. Lisäksi tuli määritellä ylläpitovastuu työssä tuotettavan tietokannan ylläpitämiseksi.

6.2 Tavoitteiden toteutuminen

Asetetut tavoitteet kyettiin täyttämään: työkalusta valmistui tavoitellun kaltainen eikä tietokantaan kerättävä tietomäärä paisunut liian suureksi. Työkalusta on myös ollut hyötyä tilaajalle. Aikataulu toteutui työkalun valmistumisen osalta, mutta raportointi siirtyi vuodella eteenpäin alkuperäissuunnitelmasta. Tästä kuitenkin oli toisaalta myös hyötyä lopputulosten arvioinnin kannalta, koska työkalu ehti olla käytössä yli vuoden, joten palautetta voitiin käsitellä osana raporttia. Tuotteen ylläpitovastuut jakoutuivat käytännössä muutaman henkilön kesken. Suurin osa tiedoista määritettiin tilaajan yhteyshenkilön ja Aspocomp Oulu Oy:n ostotoiminnoista vastaavan Antti Ojalan vastuulle.

6.3 Pohdinta

Työkalun ja tietokannan kehittäjänä pidin tärkeinä ominaisuuksina sitä, että työkalua käytettäessä kaikki tiedot valitusta tuotteesta mahtuvat yhtäaikaaisesti näytölle, eikä ruutua tarvitse vierittää sen takia. Toinen tärkeänä pitämäni seikka oli juuri tuotetiedon lisäämisen helppous, johon pyrittiin leikkaa-liitä-tyyppisellä kyselylomakkeella. Hyödyllisimpänä yksittäisenä ominaisuutena pidän ominaisuuden perusteella tehtävää tuotevertailua, jossa haluttu ominaisuus esitetään palkkikaaviona, jolloin sopivat ja epäsopivat vaihtoehdot erottuvat yhdellä silmäyksellä.

Ominaisuusvertailussa on erittäin tärkeää, että kaikkien tuotteiden palkit mahtuvat näytölle yhtäaikaan. Alkuperäisessä 150 sarakkeen tietokannassa palkkikaavioista muodostui ahdas, mutta silti vielä lukukelpoinen. Nykyisellä noin 40 tuotteen tietokannalla ahtaus ei olisi ongelma, jos tuotelistaus tiivistettäisiin siten, että tyhjiksi jääneet nimikkeet siirrettäisiin kaavion loppuun. Tällöin palkkikaaviota voitaisiin suurentaa ja luettavuus paranisi (liite 3). Tämä saattaisi myös helpottaa uusien materiaalien lisäämistä, joka on saadun palautteen mukaan hie-
man hankalaa.

Omasta näkökulmastani työkalu on onnistunut, vaikka ihan kaikkia suunniteltuja ominaisuuksia en onnistunut toteuttamaan. Esimerkiksi palkkikaavion havainnollisuutta parantava ominaisuus, joka olisi muuttanut asetetun tavoitearvon saavuttavan palkin värin.

Kokonaisuutena työ oli hyvin avartava ja toi näkemystä piirilevyn valmistustekniikkaan. Työskentely prässäysosastolla puolestaan syvensi tuotannollista näkemystä entuudestaan ja helpotti työn raportointia merkittävästi.

LÄHTEET

1. Aspocomp Oulu Oy. 2012. Saatavissa:
http://www.aspocomp.com/oulu/oulu_1_1.html Hakupäivämäärä 29.5.2012.
2. Burgess, Larry W. 1999. Blind microvia technology by laser.
Luentomateriaali. Saatavissa: <http://www.laservia.com/PDF/Nepcon99.PDF>.
Hakupäivä 29.5.2012.
3. Tikkanen, Hannu 2004. Piirilevysuunnitteluopas II. Jyväskylä: DS-Design Systems Oy.
4. Mikkonen, Raija 1998. Käytännön muovitietoutta, TL2341
Muovituotetekniikka -kurssin oppimateriaali keväällä 2012.Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
5. IPC-TM-650-2.4.25C. 1994. Standardi. The Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits. Saatavissa:
http://www.ipc.org/4.0_Knowledge/4.1_Standards/test/2.4.25c.pdf
Hakupäivämäärä 29.5.2012.
6. IPC-TM-650-2.4.24C. 1994. Standardi. The Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits. Saatavissa:
http://www.ipc.org/4.0_Knowledge/4.1_Standards/test/2.4.24c.pdf
Hakupäivämäärä 29.5.2012.
7. IPC-TM-650-2.4.24.6. 1994. Standardi. The Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits. Saatavissa:
http://www.ipc.org/4.0_Knowledge/4.1_Standards/test/2-4_2-4-24-6.pdf
Hakupäivämäärä 29.5.2012.


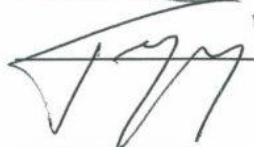
8. IPC-TM-650-2.4.24.1. 1994. Standardi. The Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits. Saatavissa:
http://www.ipc.org/4.0_Knowledge/4.1_Standards/test/2.4.24.1.pdf
Hakupäivämäärä 29.5.2012.
9. Wikipedia. 2011. Dielektrinen aine. Saatavissa:
http://fi.wikipedia.org/wiki/Dielektrinen_aine. Hakupäivä 28.5.2012
10. IPC-TM-650-2.5.5. 1975. Standardi. The Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits. Saatavissa:
http://www.ipc.org/4.0_Knowledge/4.1_Standards/test/2.5.5a.pdf
Hakupäivämäärä 29.5.2012.
11. IPC-TM-650-2.5.5.1b. 1986. Standardi. The Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits. Saatavissa:
http://www.ipc.org/4.0_Knowledge/4.1_Standards/test/2.5.5.1b.pdf
Hakupäivämäärä 29.5.2012.
12. Plastics Engineering Company 2012. Phenolic Novolac and Resol resins. Saatavissa: <http://www.plenco.com/phenolic-novolac-resol-resins.htm>.
Hakupäivä 29.5.2012
13. Threebond Co, LTD 1987. Technical News, One-Part Epoxy Resin. Saatavissa:
<http://www.threebond.co.jp/en/technical/technicalnews/pdf/tech19.pdf>
Hakupäivä 29.5.2012
14. IPC-TM-650-2.4.8C. 1994. Standardi. The Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits. Saatavissa:
http://www.ipc.org/4.0_Knowledge/4.1_Standards/test/2.4.8c.pdf
Hakupäivämäärä 29.5.2012.

15. IPC-TM-650-2.6.2.1. 1986. Standardi. The Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits. Saatavissa:

http://www.ipc.org/4.0_Knowledge/4.1_Standards/test/2.6.2.1a.pdf

Hakupäivämäärä 29.5.2012.

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä¹ Tero Yrjänä, 045 30 4223, +3yhte00@students.oamk.fiTilaaaja² Aspocomp Oulu OyTilaaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot³ Antti Ojala
0400 685 816Työn nimi⁴ Piirilevy materiaalien ominaisuuksien kartoittaminen ja tiedonTyön kuvaus⁵ Kartoittaa piirilevytuotannossa olennaisten luontien
ominaisuuksien listaus eri materiaaleilta ja
tuottaa niiden tarkastelua ja vertailua helpottava
työkalu.Työn tavoitteet⁶ Excel-pohjainen työkalu helppoa materiaalien
ja niiden ominaisuuksien tarkastelua
vartenTavoiteaikataulu⁷ 30.3.2010 - 31.12.2010Päiväys ja allekirjoitukset⁸ 7.4.2010 Antti Ojala
 Tero Yrjänä¹ Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite.² Työn teettävän yrityksen virallinen nimi.³ Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta.⁴ Työn nimi voi olla tässä vaiheessa työnimi, jota myöhemmin tarkennetaan.⁵ Työ kuvataan lyhyesti. Siinä esitetään muun muassa työn tausta, lähtötilanne ja työssä ratkaistavat ongelmat.⁶ Esitetään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet.⁷ Esitetään projektin tavoiteaikataulu. Silloin, kun työllä on välitavoitteita, myös ne merkitään aikatauluun.⁸ Tavoiteaikataulun ja oppilaitoksen yleisaikataulun perusteella tekijä laatii oman aikataulunsa.⁸ Lähtötietomuistio päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilaaajan yhdyshenkilö.

	A	B	C	D
1	Material comparison tool - ASPOCOMP			
2		EM-320(5)	EM-825	IT-158TC
3	Item order number	16	17	45
4	Material type	Mid-Tg FR4	Mid-Tg FR4	MTg lead free
5	Manufacturer	EMC	EMC	ITEQ
6	Related product (prepreg)	EM-32B(5)	EM-825B	IT-158BS
7	Price example 0.45-0.55 18/18 (/m2)	11,67 I	11,67 I	11,88 I
8	Is material still in production / for how long?	in production	in production	Yes, since 2004
9	Price index	100	100	102
10	Product used before in Aspocomp?	YES	YES	NO
11	Available sizes:			
12	460x610	Yes	Yes	Yes
13	508x610	Yes	Yes	Yes
14	530x610	Yes	Yes	Yes
15	Other?	0	0	0
16	UL approval	Yes	Yes	Yes
17	Dk at 1MHz (given by supplier) RC 50%	4,7	4,9	53%, 4,2
18	Df at 1MHz (given by supplier) RC 50%	0,022	0,015	53%, 0,017
19	Df at 1GHz (given by supplier) RC 65%	0,024	0,018	62%, 0,018
20	Dk at 1GHz (given by supplier) RC45%	4,1	4,6	46%, 4,1
21	Dk at 1GHz (given by supplier) RC65%	3,7	4	62%, 4,0
22	Dk at 10 GHz	3,8	4,2	53%, 3,7
23	Df at 10 GHz	0,024	0,021	53%, 0,020
24	Tg/DSC	150	150	>150
25	Tg/TMA	140	140	>140
26	Td/TGA 5% weight loss	340	340	>340
27	T260min	>60/>60	>60/>60	>60
28	T288min	15/25	15/>25	>20
29	CTE X-axis	13	12	11/13
30	CTE Y-axis	15	15	11/13
31	CTE Z-axis < Tg	60	50	40
32	CTE Z-axis > Tg	300	260	250
33	Curing system	PN	PN	Modify-PN
34	Filler	Yes	Yes	Yes
35	Peel strength (IPC TM650 2.4.8.) (kN/mm2)	1.4-1.75	1.4-1.75	>7
36	Moisture absorption IPC TM-650 2.6.2.1.	0,14	0,1	<0.11
37	UL approval at Aspocomp	YES	No	YES
38	Process approval at Aspocomp			
39	Process approval files	N/A	0	N/A
40	Processing guidelines	0	0	0
41	Program to use in hotpress?	YES	YES	YES
42	Need of pullers in processes concerning thickness/s	NO	NO	NO
43	Need of furnace before hotpress?	NO	NO	NO
44	Need of special racks while furnacing mask?	NO	NO	NO
45	Special guidelines in inner layer etching (Speed)?	NO	NO	NO
46	Special guidelines in AOI?	NO	NO	NO
47	Special guidelines in riveting?	NO	NO	NO
48	Special guidelines in drilling/machining - parameters	FR4 param.	FR4 param.	FR4 param.
49	Laser drillable?	YES	YES	YES
50	Is brushing allowed?	YES	YES	YES
51	Is gold plating possible?	YES	YES	YES
52	Plasma etch needed (yes or no)?	NO	NO	NO
53	Does galvanizing require aprons?	NO	NO	NO
54	Will Targomat find the alignment markings?	YES	YES	YES
55	ATG - Internal resistance problems that disappear w	NO	NO	NO
56	Gold-Aurodip?	YES	YES	YES
57	0	#REF!	#REF!	#REF!

