

EPF R-79

34.UP.95

Ball Grid Array (BGA) teknologi

Rapporten er utarbeidet av:

Kjell Skjørten	Kongsberg Gruppen ASA
Jon Østli	Tandberg Data ASA
Alf Gabrielsen	Noca A/S
Øyvind Veland	Siemens A/S
Dag Ausen	SINTEF Elektronikk og kybernetikk

INNHALDET I EPF-RAPPORTER KAN BARE KOPIERES
MED TILLATELSE FRA EPF
© EPF 1997

Innhold

SAMMENDRAG	3
INNLEDNING	4
UTGANGSPUNKT FOR PROSJEKTET	5
PROSJEKTPLAN OG GJENNOMFØRING.....	6
ØKONOMI.....	8
SEMINAR.....	8
BEGREPER OG MENINGER	9
BGA-TEKNOLOGI	10
UTVIKLINGSTREND	10
HVA ER EN BGA-KOMPONENT?	10
BGA-KOMPONENTER I OFM-PRODUKSJON	13
BGA-TESTKORT	13
<i>BGA plassering og daisy-chain mønster på testkortet</i>	17
BGA-MONTASJE.....	18
<i>Monteringsparametre</i>	18
<i>Loddeprofiler</i>	19
<i>Kommentarer til montasjeprosessen</i>	21
<i>Monteringsresultat</i>	23
REWORK	23
PÅLITELIGHET VED BGA-MONTASJE.....	25
EVALUERING AV BGA-TESTKORT	26
TEMPARATURSYKLING	26
<i>Instrument liste</i>	28
<i>Måleresultater</i>	28
<i>Status på BGA-testkort under temperatursykling</i>	31
MIKROFOKUSRØNTGEN	32
<i>Kommentarer fra IVF</i>	35
<i>Variasjon i porestørrelse</i>	36
DESTRUKTIV EVALUERING	37
<i>Mikroslip</i>	37
<i>“Twist-off” test</i>	37
STUDIETUR	39
HENSIKT	39
HVEM VI SKULLE BESØKE	39
TEMAER TIL DISKUSJON	39
OPPSUMMERING AV INNTRYKK	40
STATUS BGA HOS MOTOROLA.....	40
KONKLUSJONER	41
YTTERLIGERE KOMMENTARER	42
ANDRE FORHOLD.....	43
PUBLIKASJONER	43

Sammendrag

Prosjektet Ball Grid Array (BGA)-teknologi er gjennomført som et samarbeidsprosjekt mellom bedriftene Siemens, Noca, Tandberg Data og Kongsberg Gruppen i samarbeid med SINTEF Elektronikk og kybernetikk og Elektronikkindustriens Produksjonstekniske Forum (EPF). Prosjektet har hatt en varighet på 1½ år med støtte fra Norges Forskningsråd for 1 år gjennom Progit-programmet. Prosjektet har hatt som hovedmålsetting å tilrettelegge for innføring av BGA-teknologien i norsk IT-industri, samt å bygge opp produksjonskompetanse med teknologien i de deltakende bedrifter.

Gjennom prosjektet er det tatt fram et BGA-testkort som er brukt til å evaluere teknologien. I etterkant av prosjektet er dette kortet tilbudt andre norske IT-bedrifter som ønsker å prøve ut teknologien. Prosjektgruppen har avholdt et seminar med BGA-teknologi som tema, samt at det er skrevet to artikler i fagtidsskriftet "Elektronikk".

Prosjektet konkluderer med at BGA-komponenter kan monteres som andre OFM-komponenter i standard produksjonsutstyr. God prosesskontroll er en forutsetning for en vellykket BGA-montasje. Utover dette krever BGA-komponenter ingen ekstra kontroll eller inspeksjon i produksjon. Videre vil en utstrakt bruk av BGA-komponenter etter vår mening redusere produksjons-kostnadene og være et viktig bidrag mot "0-feil"-konseptet. Teknologien vil dermed bidra til forbedret produktøkonomi.

Arbeidet i prosjektet har vært en positiv erfaring for de deltakende bedrifter. Hver enkelt bedrift har etter eget utsagn opparbeidet seg kompetanse til å montere BGA-komponenter i eget utstyr gjennom deltakelse i prosjektet.

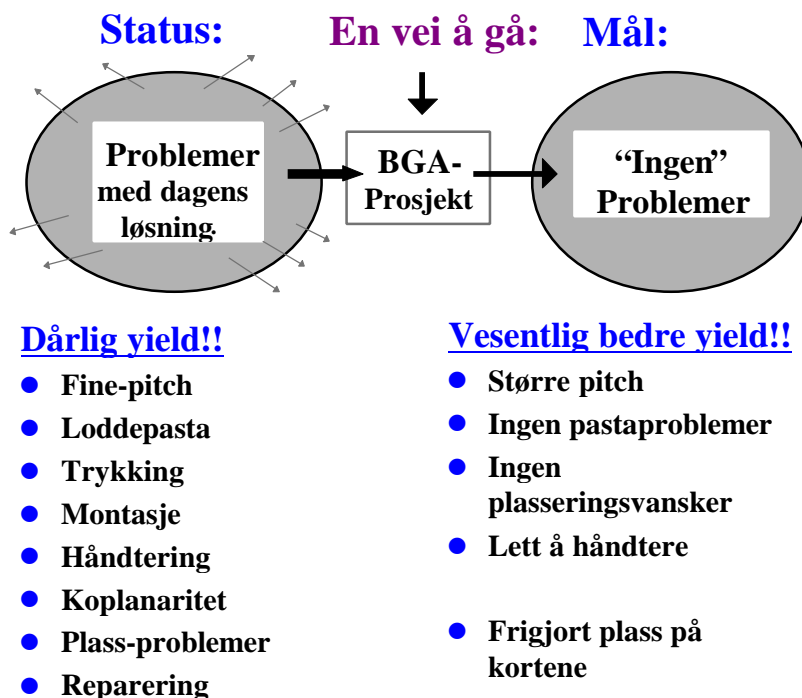
Innledning

Prosjektet Ball Grid Array-teknologi ble startet opp som et EPF-prosjekt på forsommeren 1995. Deltakerbedrifter var Kongsberg Gruppen Forsvar Produksjon, Tandberg Data Storage, Noca og Siemens som deltakere. Prosjektleder var først Jon Nysæther og fra vinteren 1996 Dag Ausen, begge SINTEF Elektronikk og kybernetikk. Hensikten var kort oppsummert å lære seg mer om BGA-teknologien i produksjon. Det ble raskt klart at gruppen ønsket å ta fram et testkort for selv å lære gjennom erfaring, og at dette krevde en del økonomiske midler. Det ble derfor søkt om støtte til gjennomføring av prosjektet hos Norges Forskningsråd.

Prosjektgruppen har hatt en todelt målsetting med prosjektet.

- Gjennom sitt arbeid tilrettelegge for innføring av BGA-teknologien i norsk IT-industri
- Evaluere teknologien i eget og eksisterende produksjonsutstyr for dermed selv lære seg denne nye montasjeteknologien.

Ved montasje av BGA-komponenter på testkortet som er laget i prosjektet, skal bedriftene få informasjon om kritiske produksjonsparametre i montasjeprosessen. Etter montasje er kortene evaluert ved termisk sykling (MIL-standard) og kvaliteten av loddeforbindelsene er deretter undersøkt med røntgen. Det er også foretatt enkelte slip og avrivning av komponenter for å studere loddefugene nærmere.



Figur: Deltakerbedriftenes motivasjon for prosjektet

Utgangspunkt for prosjektet

Prosjektgruppen utarbeidet følgende status for teknologien ved prosjektstart (høsten 1995)

Bakgrunn:

- BGA er en pakke- og termineringsteknologi som for innpakning av IC-kretser.
- Pr idag (vår/høst 1995) er det ingen i Norge som anvender BGA. Internasjonalt er det imidlertid mer og mer vanlig å benytte BGA i nye produkter. F.eks. leverer Intel nå enkelte brikker med BGA som standard. Compaq og Motorola bruker begge BGA-komponenter i sine nye produkter. For enkelte anvendelser prøves også μ BGA ut (fine-pitch BGA).
- BGA har et potensiale for å gi store gevinster i form av plassbesparelse og yield (fordi man slipper å gå langt ned i pitch).
- Pr idag koster BGA mer enn alternative teknologier, først og fremst fordi volumene foreløpig er små.

Utvikling:

- Utviklingsingeniører ser på BGA som dyrt og utilgjengelig, og er lite villige til å prøve ut teknologien. Det er derfor en målsetning å påvirke disse slik at BGA blir et naturlig valg framfor fine-pitch løsninger.

Design:

- Enkle designregler for BGA er beskrevet i boken "BGA Technology" av Lau. På designsiden finnes det likevel mange ubesvarte spørsmål, bl. a. design for testbarhet.

Komponenter:

- Testkomponenter finnes tilgjengelig fra f.eks. TopLine. Disse leveres både enkeltvis, på tape eller i tray. Leverandører som tilbyr BGA på enkelte standardkomponenter er bl.a. Motorola, Kyocera, Amkor/Anam, Hitachi, LSI Logic og National Semiconductor.

Lodding av BGA-pakker:

- Konveksjonsovn er best egnet pga. lavere temperaturforskjeller (ΔT), men i prinsippet kan alle typer ovner brukes.
- Tandberg Data har gjort loddeforsøk som viser at 225-pins kretser kan monteres uten å endre prosessparametre (i konveksjonsovn). Dette betyr at enkle kretser vil kunne gå rett inn i produksjonsprosessen.
- Produksjonsutstyr for BGA, som pick and place utstyr, lodding- og reflow- utstyr, finnes tilgjengelig på markedet (Productronica -95)

Test:

- Et ubesvart kapittel. Direkte tilgang til alle punkter er svært vanskelig pga. lav pitch og stort nåletrykk. Ericsson i Sverige, som har jobbet mye med BGA, har intet annet svar å gi enn "boundary-scan", og vil helst stole på produsentens forhåndstesting.
- Muligens vil det trenge et ekstra lag i kortet for å få fram testpunkter.
- Røntgen: Mulig inspeksjonsmetode, men lite praktisk i produksjonssammenheng.

Pålitelighet:

- Lite avklart for store pakker, særlig keramiske.

Reparasjon:

- Mulig: Produsent kan ta pakker tilbake for "re-balling". Footprint må renses.
- Utstyr finnes i mange varianter prisklasser.

Prosjektplan og gjennomføring

Prosjektgruppen har avholdt 15 prosjektmøter samt et prosjektmøte med IVF¹ i perioden. Videre er det arrangert et EPF-seminar på SINTEF og en studietur til USA. Artikkelen "BGA baller på seg" i fagtidsskriftet "Elektronikk" 3/97 gir en oppsummering av erfaringene fra prosjektet. Disse ble også fremlagt på EPFs årsmøte 1997 i form av et foredrag. I etterkant av prosjektet tilbyr prosjektgruppen EPFs medlemsbedrifter et BGA-kit myntet på bedrifter som vil prøve ut teknologien i eget produksjonsutstyr. Tilslutt kan nevnes at prosjektgruppen ble nominert til EPF-prisen 1996 for sitt arbeid i prosjektet.

Selve prosjektarbeidet ble delt inn i flere faser kort beskrevet under.

Utvikling, produksjon og test av testkort for BGA

Utvikling av et eget testkort for utvikling av BGA-teknologien i de deltagende bedrifter. Hovedmålsettingen med arbeidet er å få praktisk erfaring og innsikt i de grunnleggende problemstillingene rundt BGA. Eksempler på interessante områder er krav til kretskortutlegg, kompatibilitet med nåværende produksjonsprosess/utstyr og pålitelighet under klimapåvirkning.

Studiereise

Studiereise for gruppens medlemmer til USA for å få en direkte dialog med produsenter og leverandører av BGA-teknologi samt med bedrifter som benytter seg av teknologien i egen produksjon og har erfaring med den.

Administrasjon, rapportering og videreføring

Administrasjon, rapportering og planlegging av videreføring av aktiviteten i prosjektet. Tilrettelegging for søknad under EU-programmet 'Application experiment' eller lignende programmer for en eller flere av de deltagende bedriftene. Arrangere et BGA-seminar i regi av EPF. Utarbeidelse av et 'BGA-test-kit' som kan tilbys norske bedrifter. Undersøke pris og tilgjengelighet for BGA-komponenter. Rapportering i form av artikler og en åpen rapport.

Med disse tre hovedfasene ble følgende prosjektplan utarbeidet:

1. Utvikling og produksjon av testkort

Mål: Utvikle et testkort for utprøving av BGA-teknologien

Formål: Utvikle et hensiktsmessig testkort som samtidig gir en del erfaring med utlegg av denne typen kort.

Aktiviteter: Utlegg av kort og produksjon av prototypkort

Montering/evaluering av prototypkort

Korreksjoner og produksjon av endelig testkort

Besøk hos IVF for utveksling av erfaringer/diskutere evt. samarbeid

¹ IVF: Institut för Verkstadsteknisk Forskning, Göteborg. Kontaktperson BGA: Per-Erik Tegehall

2. Utvikling av retningslinjer for utlegg av BGA-komponenter

Mål: Utarbeide generelle retningslinjer for utlegg av BGA-komponenter

Formål: Opparbeide kunnskap og erfaring ved utlegg av BGA-komponenter på kretskort

Aktiviteter: Dokumentere erfaringer fra utleggsdelen, både ved utlegget av prototyp-kortet og ved korreksjonene på det endelige testkortet

3. Verifisering av ulike produksjonsprosesser

Mål: Montering av BGA-komponenter på testkortene i hver enkelt bedrift

Formål: Verifisere at effektiv montering av BGA-komponenter er mulig i den enkelte bedrift. Sammenligne hvordan ulikt prosessutstyr påvirker monteringen

Aktiviteter: Montering av BGA-komponenter på prototyp- og testkort.

Evaluering av monteringen ved kontinuitetstesting (daisy chain)

4. Miljøtesting

Mål: Teste pålitelighet av ferdigmonterte testkort

Formål: Verifisere kvaliteten på BGA-termineringen etter miljøpåvirkning (temperatursykling)

Aktiviteter: Røntgentest (IVF), termisk sykling, destruktiv testing

5. Studiereise

Mål: Studiereise for å snakke med brukere, produsenter og leverandører av BGA-teknologi (komponentleverandør, utstyrsleverandør, produksjonsbedrift, forskningsinstitutter o.l.)

Formål: Innhente erfaringer på alle feltene innen teknologien

Aktiviteter: Studieturen planlegges som en avslutning på prosjektet, slik at den kan legges opp etter erfaringene gruppen har fått i prosjektet

6. Rapportering

Mål: Rapportering av resultatene

Formål: Dokumentasjon av arbeid og resultater fra prosjektet som grunnlag for videre arbeid. Studie av tilgjengelighet og pris på BGA-komponenter

Aktiviteter: Skrive enkel rapport

Arrangere seminar(er)

Skrive artikler i magasiner (Elektronikk)

Tilby 'BGA test-kit' til industrien

7. Videreføring av prosjektet

Mål: Planlegging av videreføringen av prosjektet

Formål: Videreføring av prosjektet samlet eller for hver enkelt bedrift

Aktiviteter: Opplyse og tilrettelegge for søknader som en videreføring av prosjektet.

Økonomi

Prosjektet er finansiert fra Norges Forskningsråd og EPF. De deltakende bedriftene har bidratt med egenandel gjennom sin deltakelse i prosjektet. Under er det vist hvor prosjektet har brukt midlene og hvordan det er finansiert.

SLUTTREGNSKAP (1000 MNOK)

<u>Kostnader:</u>		<u>Finansiering:</u>	
Næringsliv	294,489	Forskningsrådsmidler	235,087
Institutt	100,215	Egne midler	294,489
Direkteutgifter	<u>160,747</u>	Andre private midler (EPF)	<u>25,875</u>
	<u>555,451</u>		<u>555,451</u>

Seminar

Prosjektgruppen arrangerte et miniseminar om BGA-teknologi høsten 1995 med 33 deltakere fra norsk industri.



inviterer til

Miniseminar om

Ball Grid Array-teknologi

(kulematrise kapsler)

tirsdag 19. september 1995

kl. 08.30 - 13.00

SINTEF, Oslo

Program:

Kl. 08.30	Registrering og kaffe
Kl. 09.00	Velkommen
Kl. 09.05	BGA-teknologi v/Bob Willis
Kl. 10.20	Kaffe
Kl. 10.45	BGA-teknologi fortsetter
Kl. 12.00	Spørsmål/Diskusjon

Bakgrunn for seminaret:

EPF's prosjektgruppe for BGA-teknologi har som målsetting å innføre kunnskap om kulematrise kapsel (Ball Grid Array) teknologien til konstruktører og produsenter i norsk IT-industri. Videre er det en målsetting for de deltakende bedrifter selv å ta i bruk teknologien i sin produksjon. I den forbindelse har gruppen invitert en ekspert på området, Bob Willis, til å holde et miniseminar om teknologien.

Overflate-monterte komponenter med stadig finere pitch gir dagens produksjon- og montasjeteknikker store utfordringer. Ved å anvende kulematrise kapsler på hele komponentens underside, kan komponentstørrelsen holdes nede samtidig som at 'fine-pitch'-problemene unngås.

Seminarets målsetning:

Miniseminaret vil gi en innføring i BGA-teknologien og hvilke konsekvenser anvendelse av denne har for bedrifter som ønsker å prøve ut teknologien i sin produksjon. Temaer som teknologivalg, utlegg, montering, inspeksjon og pålitelighet vil bli tatt opp. Potensielle problemer med innføring av teknologien vil også bli berørt. Seminaret tar sikte på å gi deltakerene status på området og innsikt i hva som skjer internasjonalt innen teknologien.

Begreper og meninger

Kort oversikt over forkortelser og uttrykk.

ASIC	Application Specific Integrated Circuit
BGA	Ball Grid Array
CBGA	Ceramic Ball Grid Array
CCGA	Ceramic Column Grid Array
C4	Controlled Collapse Chip Connection
DCA	Direct Chip Attach (C4 on PCB-substrate)
FC	Flip Chip
FCAA	Flip Chip Adhesive Attachment
IC	Integrated Circuit
I/O	In / Out interconnection
MCM	Multi Chip Module
MCM-C	Ceramic Multi Chip Module
OMPAC	Over Molded Plastic Array
PBGA	Plastic Ball Grid Array
PCB	Printed Circuit Board
SBGA	Super BGA™ (™ of Amkor Anam)
TAB	Tape Automated Bonding
TBGA	Tape Ball Grid Array
TCE	Thermal Coefficient of Expansion

BGA-teknologi

Det vil ikke bli gitt en detaljert innføring i BGA-teknologien i denne rapporten, kun en generell beskrivelse og en presisering av enkelte viktige egenskaper. Se ellers litteratur på området².

Utviklingstrend

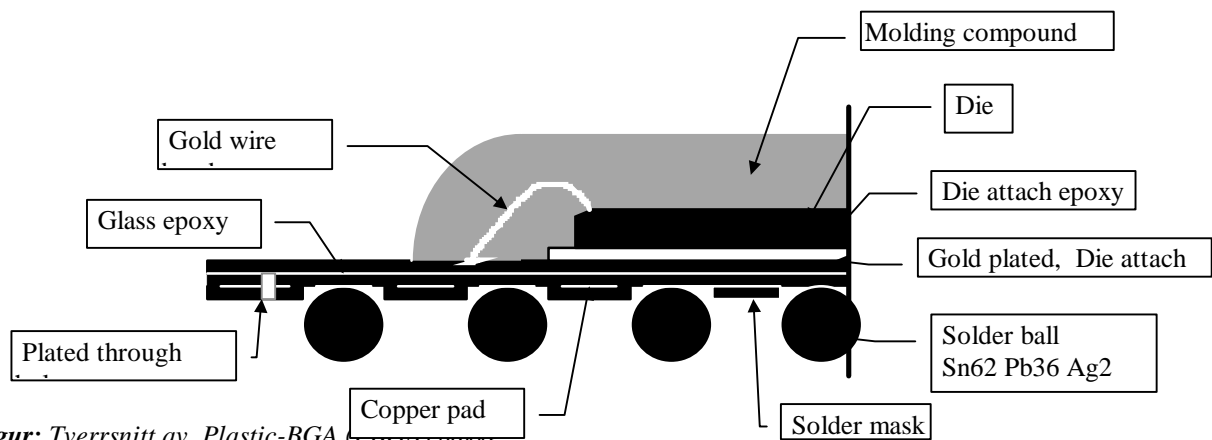
Den evigvarige trenden mot miniatyrisering og lavere kostnader har ført elektronikkindustrien til grensen av hva som er mulig med tradisjonell pakketeknologi. Som svar på morgendagens pakkeproblemstillinger er nå helt nye konsepter i ferd med å vinne innpass. Stikkordene er flip-chip, BGA og multichip moduler.

Hittil har pakketekniske utfordringer blitt løst ved å bruke store QFP-pakker med mange bein og tett pitch (fine-pitch komponenter). Dette har gitt og gir problemer i produksjonen mhp. trykking av loddepasta, palssering, montering, håndtering osv., og resulterer i dårlig "yield" (utbytte) i produksjonsprosessen.

Produksjonsingeniøren ønsker seg en monteringsprosess med vesentlig bedre yield. Komponenter med stor pitch gir et vesentlig større prosessvindu. Problemområdene med fine-pitch komponenter forsvinner mer eller mindre, og prosessutbyttet blir vesentlig større. BGA-komponenter har en rekke av disse fordelene i produksjon i forhold til fine-pitch QFP-komponenter, og er av mange ansett som neste generasjon termineringsteknologi for IC-brikker³.

Hva er en BGA-komponent?

BGA-teknologi er først og fremst en terminerings-teknologi, dvs. at den skiller seg fra andre pakketyper først og fremst gjennom at termineringen eller ledningsføringen fra komponent til mønsterkortet er forskjellig. En BGA-komponent benytter som navnet tilsier (ball grid array) kuler i stedet for ben eller pinner som ledningsføring mellom komponent og mønsterkort. Disse kulene er plassert på undersiden av komponenten i et matrisemønster, slik at hele arealet under komponenten kan utnyttes til terminering. Et tverrsnitt av en BGA-komponent er vist på figuren under.



Figur: Tverrsnitt av Plastic-BGA (BGA-pakke).

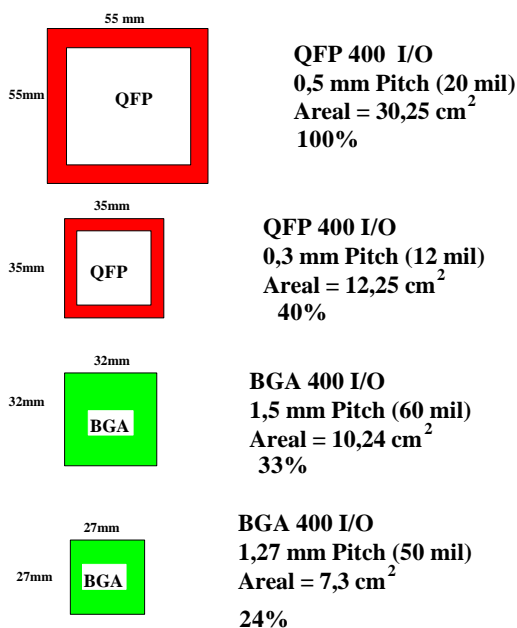
² J.Lau, "Ball Grid Array-technology", McGraw & Hill 1995

³ Universal Instruments (USA) betegner f.eks. BGA-teknologien som "the ultimate connection", se artikkelen "The Ultimate Connections: BGA and flip-chip attachment", EP&P 8/96.

Oppbyggingen av BGA-komponenten skiller seg i utgangspunktet ikke mye fra andre pakketyper. Silisiumbrikken er montert til en komponentbærer med ledningsføring til termineringen. Komponentbæreren er som regel et vanlig FR-4 substrat eller et lignende laminat (plastic BGA, PBGA), eller keramikk (ceramic BGA, CBGA). Silisiumkretsen er som regel limt fast til bæreren med gull- eller aluminium trådbonding som ledningsføring fra brikke til bærer. Alternative teknologier som f.eks. flip-chip kan også anvendes, men denne teknologien innebærer bruk av en ekstra loddeprosess eller ledende lim. Det er vanligst å benytte eutektisk loddetinn i kulene under komponenten, spesielt for PBGA-komponenter. Andre legeringer kan også forekomme. For kermikk-bærere (CBGA) er høytemperatur loddetinn (10/90 Sn/Pb) oftest benyttet. Kula kolapser da ikke ved omsmelting (reflow), men beholder sin opprinnelige form med loddetinnpasta som kontakt mot komponent og kort. En mer spesiell utgave av BGA-komponenten er Ceramic Column Grid Array (CCGA), hvor kulene er erstattet med sylindrerformede stolper. Disse benyttes først og fremst for keramikkomponenter med stor effektdissipering. På grunn av den store forskjellen i termisk utvidelse til materialene, oppstår det store termiske spenninger mellom komponent og kretskort. På grunn av at stolpene er mer fleksible enn kulene, kan de ta opp større termiske spenninger. Dermed blir påliteligheten til loddeforbindelsen opprettholdt på et høy nivå.

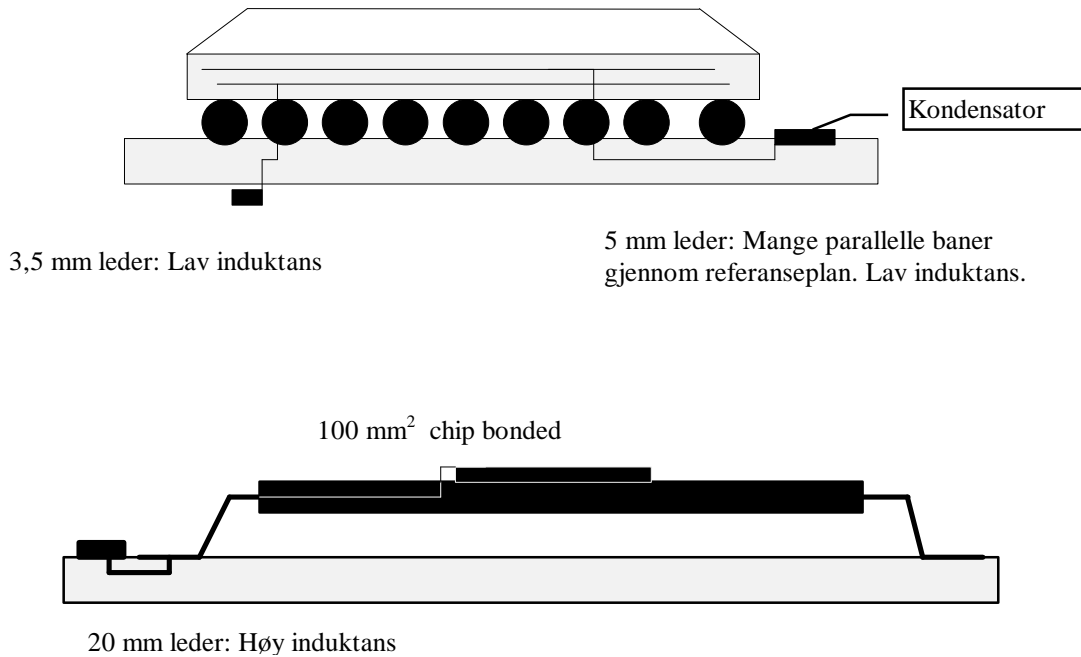
Avstanden mellom kulene varierer, men vanligst er 1.27 mm pitch (50 mil). 1.5 mm og 1.0 mm pitch forekommer også. For enkelte komponenter er kuleradene forskøvet i forhold til hverandre ("staggered"), og da blir den reelle pitchen enda større. Enkelte produsenter har allerede introdusert μ BGA-komponenten, og her er avstanden mellom kulene ned mot 0.5 mm. En rekke av produksjonsfordelene med BGA-komponenter kontra QFP-komponenter forsvinner imidlertid ved bruk av en slik komponent (fine-pitch problematikk).

Som sagt er BGA-kulene plassert under hele arealet på komponenten og ikke som for QFP-komponenter med terminering kun langs sidekantene. Arealet på mønsterkortet kan da utnyttes betraktelig bedre, noe som figuren under illustrerer.



Figur: Sammenligning av arealbehov for BGA- og QFP-komponenter med 400 I/O på standard mønsterkort.

BGA-komponenter har også bedre elektriske egenskaper enn QFP-komponenter, først og fremst mindre støy på grunn av lavere induktans i ledningsføringen. Figuren under illustrerer dette. De termiske egenskapene til denne pakketeknologien er også vesentlig bedre. Anbefalt effektdissipering i standard PQFP-pakker er 1.5 W (2 W maksimalt), mens f.eks. en PBGA-225 pakke kan tåle en effektdissipering på opp mot 4 W. Med Amkor Anam's SuperBGA™-pakke er det mulig å dissipere opptil 6 W.⁴



Figur: Power-baner i BGA-komponent (øverst) og i QFP-komponent (nederst). Lavere induktans i power-baner betyr lavere støy. Lange ledere i QFP-komponenten gir derfor høy induktans og mer støy enn for de kortere ledningsbanene i BGA-komponenten.

⁴ To artikler som diskuterer den termiske oppførselen til PBGA-pakker er:

B.M. Guenin, R.C. Marrs, R.J. Molnar, "Analysis of a Thermal Enhanced BGA Package", IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, Part 1, Vol. 18, No. 4, 1995, pg. 749-757

P. Valenta, "Simulation Establishes High-power BGAs' Thermal Performance", EDN Europe, June 5, 1997

BGA-komponenter i OFM-produksjon

Prosjektets hovedmålsetting har vært å evaluere BGA-teknologien i eksisterende produksjonsutstyr. Det er derfor lagt ned størst innsats rundt dette temaet. Prosjektgruppen har hentet seg erfaringer fra utlegg av testkortet, fra montasje av komponenter i standard OFM-utstyr og gjennom en evaluering av kvaliteten på de ferdigmonterte kortene. Evalueringen har bestått av temperatursykling, mikrofokusrøntgen, mikroslip og “twist-off” test.

BGA-testkort

Det er en rekke forskjellige BGA-testkort på markedet, bl.a. fra TopLine m.fl., men prosjektgruppen fant raskt ut at den ønsket å ta fram et eget testkort for BGA-montasje. Motivasjonen for dette var todelt. Gruppen anså de tilgjengelige testkortene som for enkle og ønsket å sette listen litt høyere enn hva disse kunne tilby bl.a. med hensyn til antall kuler på komponentene. Disse kortene var også uforholdsmessig dyre. Vel så viktig var at prosjektgruppen ønsket å få erfaringer fra utleggsdelen av et mønsterkort med BGA-komponenter, og derfor anså dette som en viktig del av erfaringene fra prosjektet.

Testkortet som ble tatt fram er lagt ut hos Kongsberg Kondak og produsert hos Capinor. Kongsberg Kondak har gitt følgende status for sine erfaringer med utlegget av kortet:

- **Hvordan ble testkortet bygget opp?**

Testkortet ble bestykket for å teste ut montasje og loddeprosess av BGA på FR-4 mønsterkort. To identiske pakker av hver type er plassert på kortet, hhv. BGA256, BGA313, CBGA361 og BGA400, alle TopLine-komponenter kjøpt via UpTech⁵ i Sverige. Pitch for alle komponentene er 50 mil (1.27 mm). BGA256 er en *perimeter*-brikke, dvs. kun kuler på deler av arealet under komponenten (ikke under midten). BGA313 er en *staggered* komponent, dvs. at kuleradene er forskjøvet i forhold til hverandre. Videre er CBGA361- og BGA400-komponentene *full grid*, dvs. kuler over hele arealet. Alle komponentene er dummy-brikker med daisy-chain⁶ mønster for å kunne sjekke om alle kulene er loddet etter montasjen. Det er også satt av plass til referansekompontener dersom man ønsker å montere dette på kortet (SQFP-64 20/25 mil og PLCC-68 50 mil).

- **Utforming av loddepad'er for BGA-komponenter**

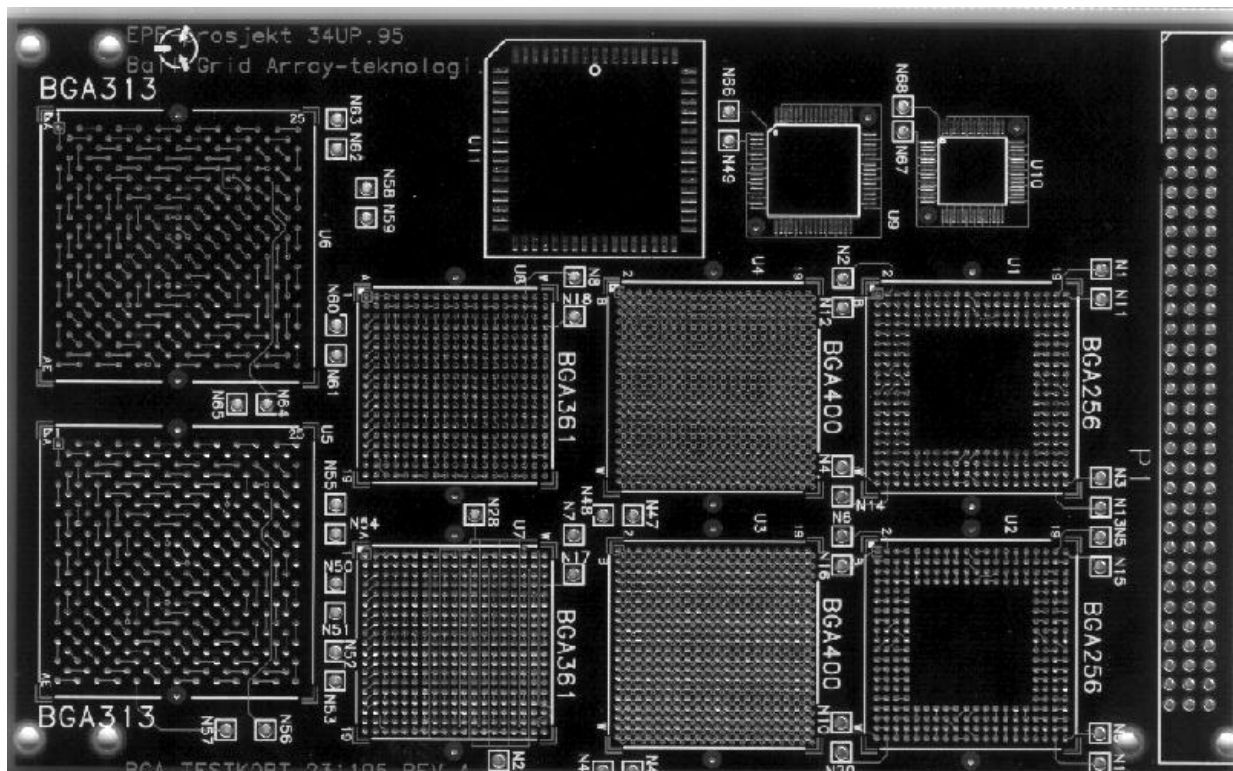
Størrelse og utforming av loddepunkter er valgt på bakgrunn av erfaring fra bl.a. IVF i Sverige. Diameter på loddepad'en er satt til 30 mil. Det ble valgt to diametre på åpningen i loddestopplakken, hhv. 24 mil og 38 mil, dvs. loddemaske-definert pad og ikke loddemaske-definert pad, og kortet ble lagt ut med en størrelse for hver komponent. Alle loddepunktene er dessuten utformet som et nøkkelhull for vha. røntgen undersøke om loddepastaen har smeltet og flytt utover hele loddepunktet i reflow-prosessen.

⁵ UpTech Norden AB, Box 2027, S-194 02 Upplands Väsby, v/Kenneth Hedman, tlf. 46-859092000

⁶ Daisy-chain: Pad'ene på komponenten og på mønsterkortet er bundet sammen i et mønster slik at de danner en sammenhengende kjede gjennom alle pad'ene dersom alle loddeforbindelsene mellom komponent og kort er gode.

- **Erfaringer fra utlegg av BGA-mønsterkort**

Kongsberg Kondak har liten erfaring med utlegg av denne typen kort. Det ble foretatt en testmontasje for å evaluere testkortet, og det var utfra denne ikke mulig å avgjøre om åpningen i loddestopplakken (24/38 mil: loddemaskedefinert pad/ ikke loddemaskedefinert pad) har betydning for selve påliteligheten til loddefugen eller ikke⁷. Dersom lakken ikke legges rundt pad'en, vil loddetinnet flyte utover ledningsføringen på kortet (tinnflukt) slik at loddefugen blir vesentlig mindre. Det ble også gjort forsøk med viahull direkte i pad'en for en komponent, og dette ga dårlig resultat etter lodding. Loddetinnet trakk gjennom viahullet og ut på baksiden av kortet. Viahull-diameteren var 0.4 mm. Resultatet var en vesentlig mindre loddefuge og størrelsen varierte tilfeldig over komponenten. Tentede viahull kan benyttes, men vi valgte å trekke via'en ut mellom pad'ene. Vias i loddepunktene bør derfor unngås. Alle komponentene er lagt ut med alignment-merker og siktemerker for automatmontering. Alignment-merkene er plassert som to hjørnevinkler i hvert hjørne, og disse kan avsløre om komponenten er plassert feil, dvs. har forskjøvet seg f.eks. en rad i forhold til kortet under monteringen. Disse merkene kan også benyttes for å posisjonere komponenten ved bytte og reparasjon.



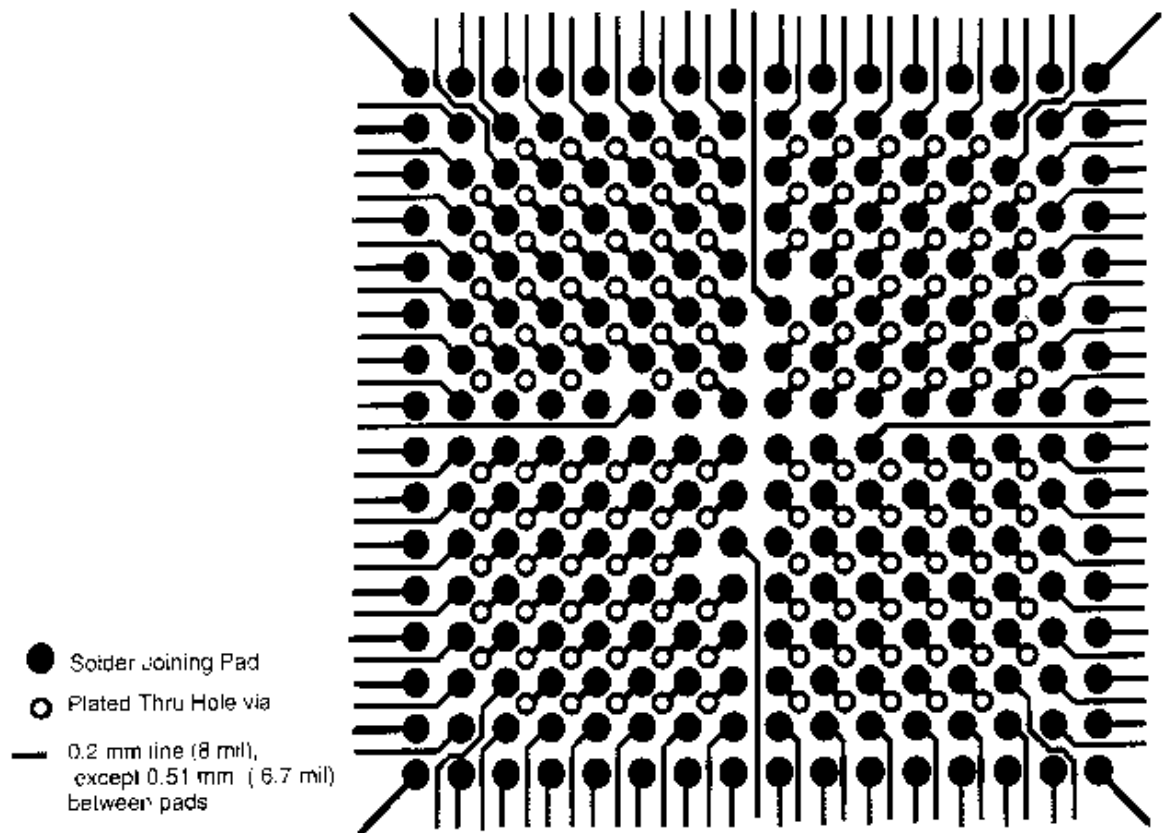
Figur: BGA testkort med plass til fire ulike BGA-komponenter og tre referansekompnenter.

⁷ Imidlertid konkluderer IVFs BGA-prosjekt BEE (BGA modules for automotive Electronics in harsh Environments) bl.a. med at loddemaske-definerte pad'er gir dårligere pålitelighet i loddeforbindelsen. Rapport fra dette prosjektet er tilgjengelig høsten 1997.



Figur: BGA-testkomponenter fra TopLine (PBGA 256, PBGA 313, CBGA 361 og PBGA 400) alle med 1.27 mm pitch.

Et potensielt problem med anvendelse av BGA-komponenter, er rutingen ut fra komponenten på kretskortnivå. Det er uheldig og kostnadsdrivende dersom innføring av BGA-komponenter medfører flere signallag i mønsterkortet for å få rutet ut disse komponentene. Motorola har bl.a jobbet med denne problemstillingen, og designer sine komponenter med utgangspunkt i at de skal kunne rutes ut vha. to signallag⁸. De har også utarbeidet noen generelle retningslinjer for utlegg av BGA-komponenter. Et eksempel på dette er vist på figuren under.



Figur: Ruting av BGA-komponent (Kilde: Motorola).

⁸ Se artikkelen "Printed Circuit Design Guidelines for BGA-packages", P. Johnston, Motorola, Proceedings of the Surface Mount International Conference, San Jose, California, 1995.

Motorola har også utarbeidet retningslinjer for pad-størrelse og utforming av loddemaske. Tabellen under viser en oversikt over deres anbefalinger.

Tabell: Anbefalt pad-størrelse (Motorola)

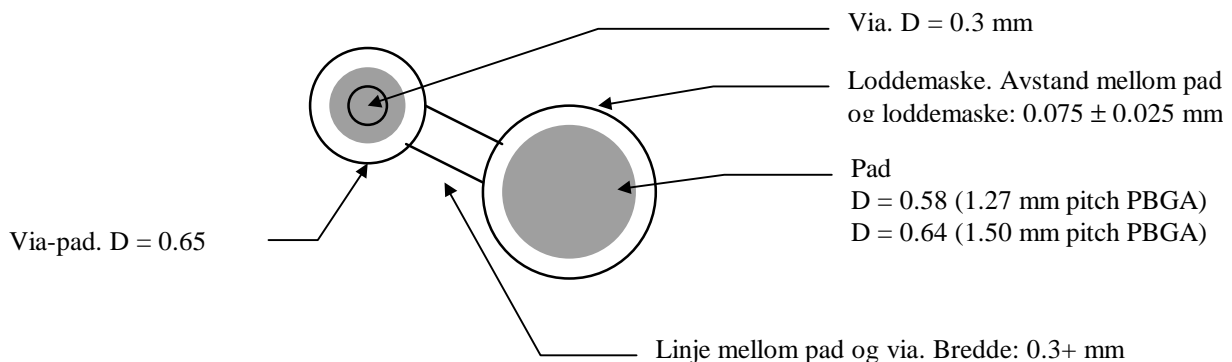
Komponent	PBGA		CBGA
Pitch (mm)	1.27	1.50	1.27
Pad-size (mm)	0.58	0.64	0.72

Testkortet ble som sagt lagt ut både med og uten loddemaskedefinerte pad'er. Dette ble gjort for å undersøke om det var noen klare forskjeller mhp. pålitelighet og montasje-parametre. På studieturen fikk vi tilgang til informasjon som ga klare anbefalinger om når de ulike metodene anbefales brukt og hvorfor.

Tabell: Fordeler og ulemper ved valg av loddemaske og ikke-loddemaske definerte pad'er. (Motorola)

Pad type	Fordeler	Ulemper
Loddemaskedefinert	<ul style="list-style-type: none"> • Sterk mekanisk styrke (god heft) • Bedre varmespredning til kort pga. mer kopper • Tåler flere rework-runder pga. bedre varmebestand • Større stand-off høyde (1-2 mil) 	<ul style="list-style-type: none"> • Utgangspkt. for sprekkinitiering • Mindre plass til ruting mellom pad'ene • Dårlig toleranse på reell åpning i loddestopplakk
Ikke loddemaskedefinert	<ul style="list-style-type: none"> • Ingen pkt. for sprekkinitiering • Mer plass til ruting mellom pad'ene • God dimensjonstoleranse 	<ul style="list-style-type: none"> • Redusert styrke i loddeforbindelse (pad - kort) • Tåler mindre mekanisk påkjenning (sjokk, vibrasjoner, bøyning) • Kan gi usymmetriske loddeforbindelser (svakere)

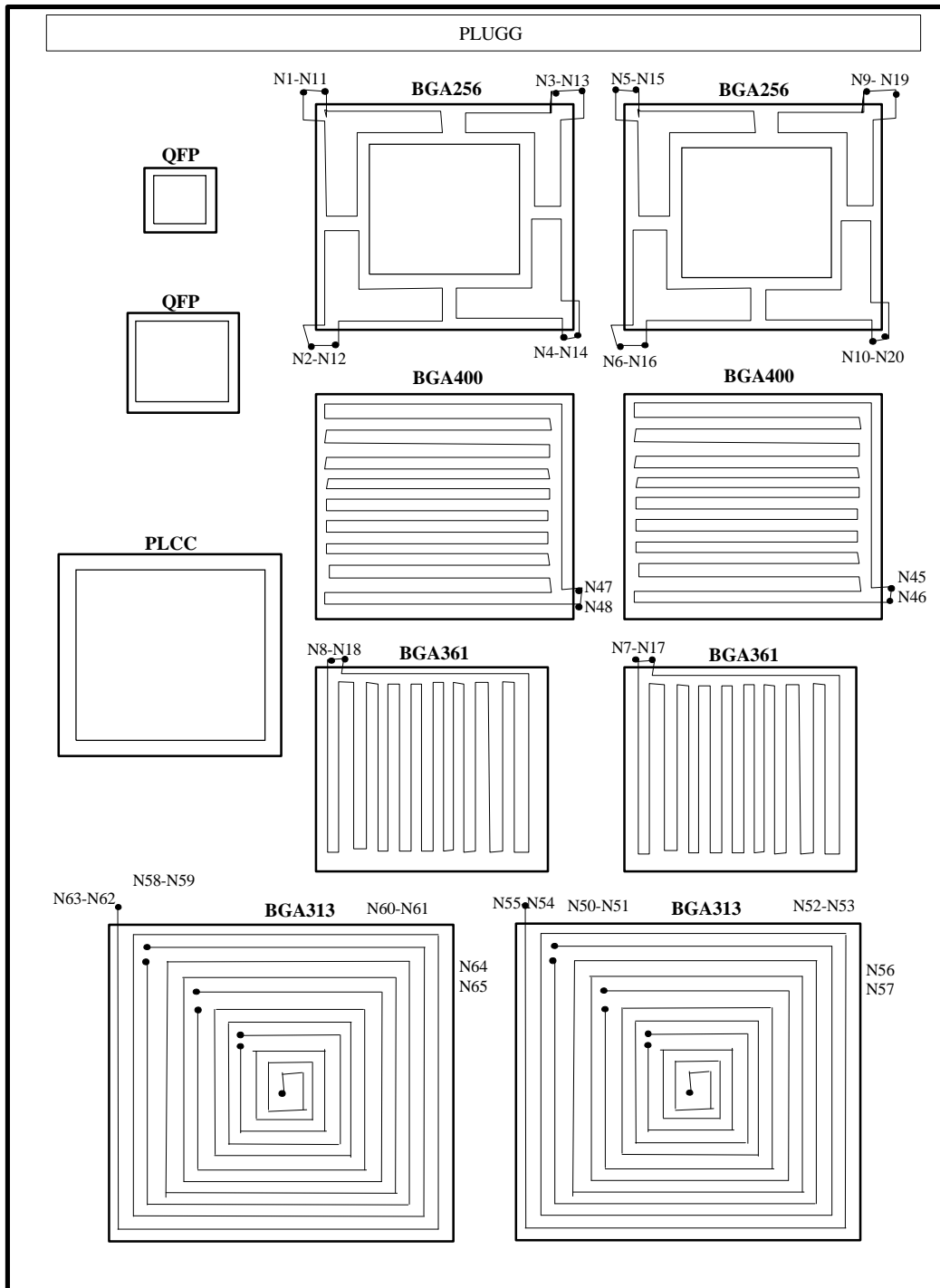
Motorola anbefaler at loddemaskedefinerte pad'er benyttes ved tynne kort fordi dette gir økt mekanisk styrke. Ellers bør ikke-loddemaskedefinerte pad'er benyttes, som gir best langtids pålitelighet i temperatursykling, spesielt når dette også er benyttet på komponentsiden. De fleste PBGA-komponenter har ikke-loddemaskedefinerte pad'er, som gir størst pålitelighet. Dette samsvarer med IVFs konklusjoner, se tidligere fotnote.



Figur: Anbefalte dimensjoner (etter etsing) for pad og via med ikke-definert loddemaske for PBGA-komponent

BGA plassering og daisy-chain mønster på testkortet

Figuren under viser grovt hvor de ulike BGA-komponentene er montert på testkortet. Daisy-chain-mønstret er også skissert for hver enkelt komponent. Kjeden kan kontrolleres med en motstandsmåling i hver endepunkt. Sammenhold figuren med bildet av testkortet.



Figur: Skisse som antyder daisy-chain mønstret til de enkelte komponentene samt plasseringen av de på kortet. Testpunkter for kontroll av kjedene er nummerert N1, N2, osv.

BGA-montasje

Test-komponenter er innkjøpt fra TopLine via UpTech Norden AB. Det er viktig å være klar over at komponentene som er benyttet kun er produsert til testformål. Det er derfor noe usikkert hvorvidt kvaliteten gjenspeiler virkelige komponenter. Spesielt ble det raskt klart gjennom erfaring at CBGA-pakken var av en dårligere kvalitet enn hva som kan forventes av reelle keramikk-pakker. Det er også viktig å være klar over at ingen av bedriftene har bakt ut, dvs. oppbevart komponentene i varmeskap før montering. Dette anbefales under montasje fordi PBGA-komponenter er følsomme for fuktighet, noe som kan skape store problemer under montasjen dersom dette ikke tas hensyn til. Såkalt “popcorn effect” kan forårsake at loddepunktene langs ytterkantene ikke får kontakt med mønsterkortet under reflow-prosessen. Det som skjer under “popcorning”⁹, er at vann gasser ut av BGA-substratet. En eller flere av sidekantene blir løftet opp fra mønsterkortet av luftboblen som dannes i BGA-komponenten under reflow-prosessen. JEDEC-standarden anbefaler at en PBGA-komponent som har vært eksponert i “fabrikk-omgivelser” (60 % RH, 30 °C) i 24 timer, bakes ut i 24 timer ved 125 °C før den monteres. På tross av disse anbefalingene ble det ikke tatt spesielle forhåndsregler ved BGA-montasjen i prosjektet. Erfaringene våre viste at BGA-komponentene ikke trenger særbehandling mhp. fuktighet såfremt de ikke er eksponert i spesielt fuktige miljøer over lengre tid. Når det gjelder statisk elektrisitet, skal BGA-komponenter følge standard prosedyrer for beskyttelse, og kan behandles som andre komponenter. Komponenter kommer som regel vakuumpakket og bør derfor ikke åpnes før de skal anvendes.

Monteringsparametre

Tabellen under viser en oppsummering av prosessdataene fra montasjen i de ulike bedriftene. Alle har foretatt en prototyp-montasje, dvs. at produksjonslinja (det beste utstyret) ikke er benyttet. Likevel har BGA-montasjen ikke resultert i nevneverige problemer for noen av bedriftene.

Tabell. Prosessdata fra montering av BGA-komponenter på testkortet i bedriftene.

Bedrift	Kongsberg	Tandberg Data	Noca	Siemens
Kortbestykning				
BGA256	2	2	1	2
BGA313	2	2	1	2
CBGA361	2	2	1	1
BGA400	2	1	1	1
Andre komp.	PLCC 68	Nei	Nei	Nei
Prosess				
Loddepasta				
Typebetegnelse	Koki CH-10-763K	Indium NC-SMQ51SC	Kester 2290	Indium NC-SMQ51SC
Legering	62-36-2	62-36-2	62-36-2	62-36-2
Metallvekt (%)	90	90	89.56	90.5
Kornstørrelse (µm)	20-50	25-45	325 / 500	325 / 500
Viskositet (kcp)	750	700	882	1100±10%
Stensil (produsent: DEK)				
Fremstillingsmetode	Etset 50/50	Etset 50/50	Etset 50/50	Etset 50/50
Materiale	stål	stål	stål	stål
Tykkelse (mm)	0.15	0.15	0.15	0.15
Aperture	10 % reduction	10 % reduction	10 % reduction	10 % reduction

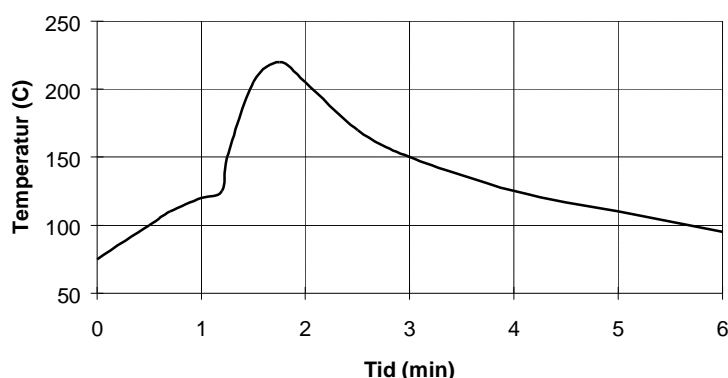
⁹ “Popcorning” betegnes av mange som “the No.1 problem with PBGA-components”. Rutiner for utbaking av PBGA-komponenter bør derfor etableres ved en volumproduksjon med BGA-montasje.

Trykkemaskin				
Maskintype	manuell	manuell	DEC 245	manuell
Justeringsmetode stensil	manuell	manuell/lupe	manuell	manuell
Rakeltype	stål	gummi	gummi	-
Rakelastighet (mm/s)	10-15	20	ca 40	-
Rakeltrykk	2-3 kg	tilstrekkelig	tilstrekkelig	tilstrekkelig
Rakelhardhet	-	90° Shore A	G	-
Pick and Place maskin				
Maskintype	manuell	manuell	OMNI-B	Universal 4766 SFP
Plasseringsprinsipp	vakuum	vakuum-verktøy	pick & place	pick & place
Hastighet	manuell	manuell	5000/hr	3500/hr
Nøyaktighet	± 0.1 mm	± 0.1 mm	± 0.005mm	± 0.005 mm
Reflowmaskin				
Maskintype	Centech VP1000	HELLER 1800	ETS	Universal Model 4813D
Prinsipp	Vapor Phase	convection	UV / IR	IR
Hastighet (cm/min)	-	90	60	90
Inspeksjon og test				
Visuell test	Ja	Ja	Ja	-
Utstyr	Mikroskop	Lupe	Mikroskop	-

Loddeprofiler

Som tabellen på forrige side antyder, har bedriftene benyttet forskjellig utstyr med ulikt prinsipp under loddeprosessen. Et av spørsmålene ved prosjektstart var om de ulike reflow-prinsippene, dvs. konveksjon, UV/IR, IR eller vapor phase, ga variasjoner i kvaliteten på loddeforbindelsene eller påvikret montasjeprosessen på andre måter¹⁰. Videre gir de generelle retningslinjer for temperaturprofilen i ovnen, ved å anbefale en peak-temperatur på 210-215 °C og en tidsperiode på minimum 75 sekunder hvor temperaturen i ovnen ligger over 183 °C. Under er de fire ulike loddeprofilene som er benyttet til montasjen av BGA-komponenter vist. Temperaturkurven viser temperaturprofilen i ovnen og ikke på selve komponenten eller mønsterkortet.

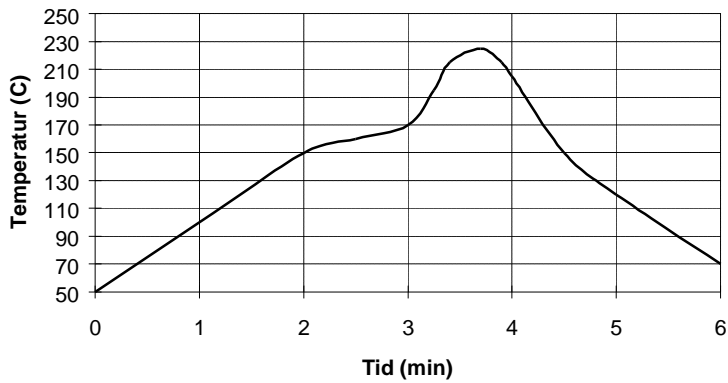
Loddeprofil, Kongsberg



Figur: Temperaturprofil for monteringsprosess hos Kongsberg Gruppen (Vapor Phase).

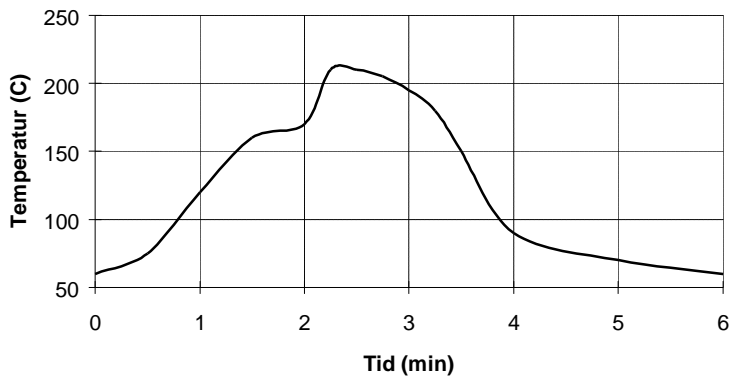
¹⁰ Motorola anbefaler å bruke en konveksjonsovn fordi dette gir best resultat, men påpeker at IR, IR/konveksjon og vapor phase også med hell kan benyttes.

Loddeprofil, Tandberg



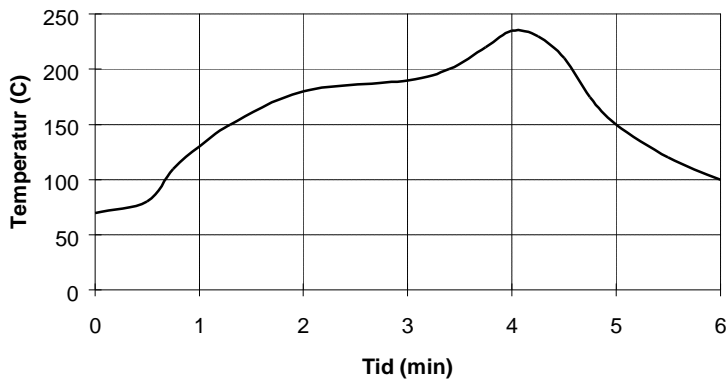
Figur: Temperaturprofil for monteringsprosess hos Tandberg Data (convection).

Loddeprofil, Noca



Figur: Temperaturprofil for monteringsprosess hos Noca (UV / IR).

Loddeprofil, Siemens



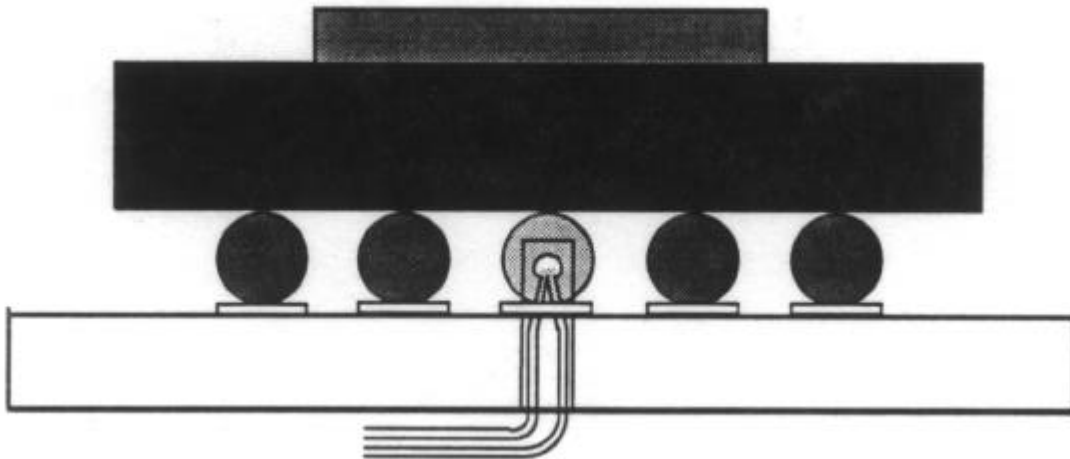
Figur: Temperaturprofil for monteringsprosess hos Siemens (IR).

Siemens har oppgitt følgende parametre for innstilling av IR-ovnen.

Tabell: Parameter-innstilling på IR-ovn under kjøring av BGA-kort hos Siemens

Parameter	Innstilling	Parameter	Innstilling
Conveyor	90 cm/min	ZN2 Bottom	600
Pace width	30	ZN3 Top	000
Prod. width	160,2	ZN3 Bottom	000
Prod. length	100	ZN4 Top	640
ZN1 Top	1500	ZN4 Bottom	640
ZN1 Bottom	1500	Edge heat 1	600
ZN2 Top	700	Edge heat 2	600

Ved problemer i loddeprosessen, bør temperaturprofilen på kortet kartlegges for å verifisere at BGA-komponenten gjennomgår den ønskede temperaturprofilen. En måte å gjøre dette på, er å kjøre kortet gjennom ovnen pånytt med et termoelement montert i en BGA-kule som vist på figuren under.



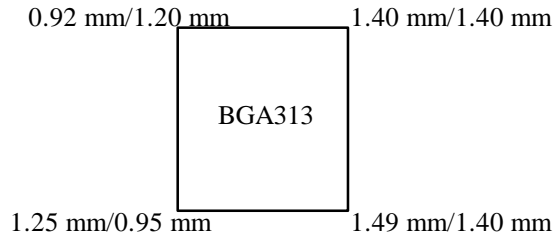
Figur: Montering av termoelement inne i BGA-kule midt under komponenten for kartlegging av temperaturprofilen (Motorola).

Kommentarer til montasjeprosessen

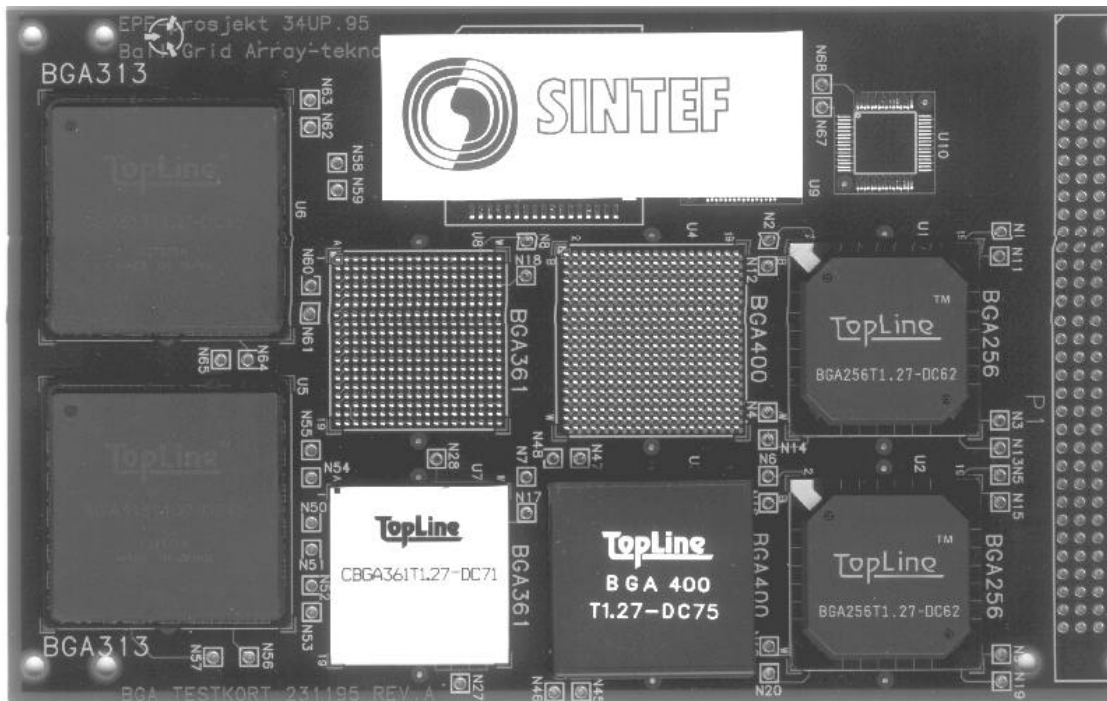
Under er det samlet en del kommentarer fra bedriftene knyttet til selve montasjen av BGA-komponentene.

- BGA313-komponenten er bøyd ned på midten, slik at hjørnene ligger høyere. Dette kan også ses etter monteringen, men har ikke påvirket monteringen av komponenten.
- BGA361-komponenten er justert manuelt i pick & place maskinen fordi det var vanskelig å sentrere den på pad'ene.
- BGA400-komponenten er montert manuelt pga. at teksten på overflaten er for høy, slik at vakuump-verktøyet ikke suger seg fast. Automat-montasje er derfor umulig.

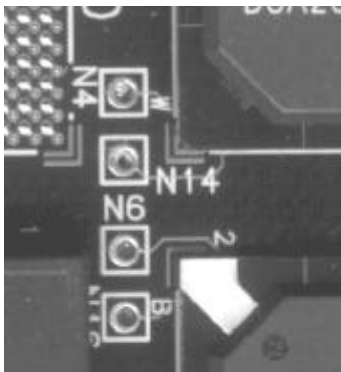
- Høyden (stand off) etter montasje er målt for alle komponentene. BGA361 og BGA256 har en stand off høyde på ca. 0.4 mm, mens BGA400 har 0.35 mm. For BGA313-komponenten er det målt stor variasjon i stand-off høyde, som sannsynligvis skyldes at komponenten er noe “vindskjev”.



Figur: Stand off høyde for PBGA-313 komponent etter montasje (senter-komponent / kant-komponent).



Figur: Testkort med 6 komponenter montert.



Figur: Detalj av alignment-merker for BGA256-komponenten er vist på bildet over. Dersom komponenten er plassert feil, vil komponenten ikke ligge riktig i forhold til disse merkene.

Monteringsresultat

Montasjen av BGA-komponenter på testkortet var suksessfull hos alle deltakerbedriftene. Spesielt for BGA 256 og BGA 313 komponentene var montasjen 100% vellykket. Tabellen under oppsummerer resultatene fra første montasjerunde i hver enkelt bedrift. Antall kort og komponenter som ble montert varierte.

Tabell: Antall monterte komponenter i bedriftene og % OK etter montasje for første monteringsrunde.

Bedrift	Antall monterte komponenter / % OK etter montasje							
	BGA 313		CBGA 361		BGA 400		BGA 256	
	Antall	% OK	Antall	% OK	Antall	% OK	Antall	% OK
Kongsberg	16	100	4	25	4	25	16	100
Tandberg	32	100	4	50	4	50	32	100
Noca	8	100	2	50	2	100	8	100
Siemens	32	100	4	100	4	75	32	100
Totalt	88	100	14	57	14	57	88	100

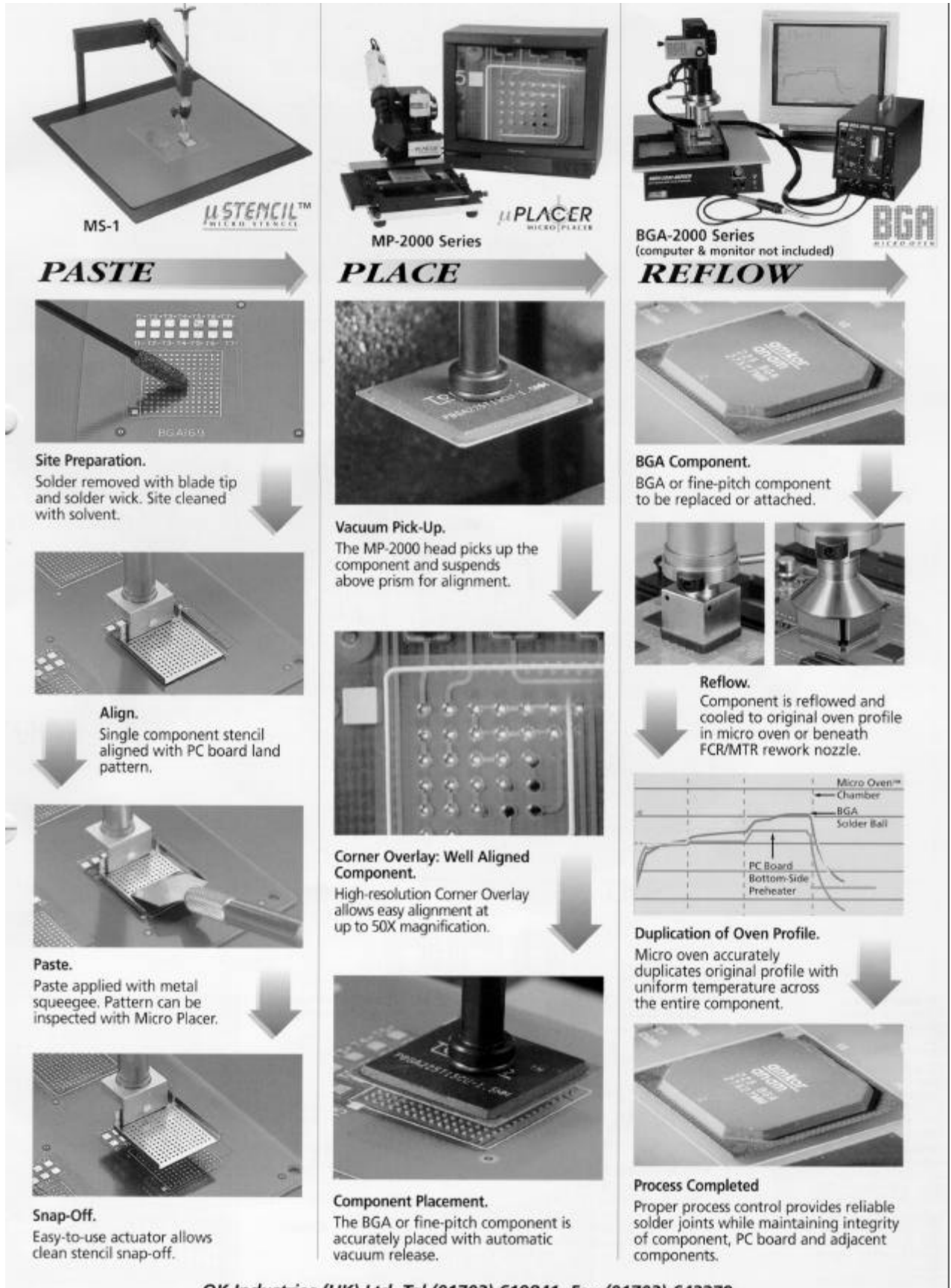
Monteringen av de to enkleste BGA-komponentene har vært helt problemfri. Når det gjelder keramikk-komponenten er monteringsresultatet påvirket av at komponentkvaliteten ikke har vært god nok. Bl.a. ble det etter montasje oppdaget at det manglet enkelte kuler under enkelte av komponentene. For “full grid” komponenten (BGA 400) skyldes noen av problemene sannsynligvis at temperaturprofilen ikke har vært korrekt justert for denne komponenten. Videre er det mistanke om at “popcorn-effekt” har oppstått under montasjen og at dette har ført til et dårligere lodderesultatet for denne komponenten. Imidlertid viser monteringen av de enkleste komponentene (BGA256 og BGA313) at denne effekten ikke har etydelig innvirkning under loddeprosessen, siden disse tilsynelatende er upåvirket av en slik effekt.

Rework

Rework av BGA-komponenter har ikke vært en del av prosjektet, og er dermed ikke utprøvd av de enkelte bedriftene. Likevel er det samlet inn en del informasjon om rework-utstyr og rundt selve prosessen. Så langt prosjektgruppen kan se, skal rework av BGA-komponenter være vesentlig enklere enn for fine-pitch QFP-komponenter. Dette samsvarer også med den informasjonen som er hentet inn gjennom studieturen og tilegnet fra artikler i fagtidsskrift¹¹.

Flere leverandører har BGA-rework utstyr. Både Martin (Krepro AS), PACE (LIF Produkter) og OK Industries (UpTech AB) har reworkutstyr tilpasset BGA-komponenter. Figuren på neste side viser de ulike prosessstrinnene i en rework-prosess.

¹¹ Se f.eks. artikkelen “*Reworking Ball Grid Array Assemblies*”, Electronic Packaging & Production 8/96.



Figur: Prosesstrinn for rework på BGA-komponenter (fra OK Industries).

Pålitelighet ved BGA-montasje

BGA-komponenter har store fordeler framfor fine-pitch QFP-komponenter i montasjeprosessen. Påliteligheten ved BGA-montasje er signifikant bedre siden BGA-komponenten:

- ikke har bøyd ben eller koplanaritetproblemer
- er selvjusterende på loddepad'en (retter seg opp selv med 50% feilplassering på pad)
- har enkel trykking av loddepasta
- har stor pitch (1.27 mm / 50 mil vanligst)

Selve montasjen av BGA-komponenter følger en ordinær OFM-prosess med et "bredt prosessvindu". Dersom prosessen er godt definert og under kontroll, er det ikke behov for spesiell inspeksjon av BGA-prosessen. Både IBM og Compaq har gjort undersøkelser som viser en klar forbedring av utbyttet ved BGA-montasje (assembly yield)¹². Likevel får ofte BGA-komponenter skylden for problemer som kan oppstå, sikkert pga. usikkerheten rundt en ny komponenttype og at loddepunktene ikke kan inspiseres visuelt. Compaq har imidlertid vist¹³ at BGA-komponenter i 75% av de tilfellene hvor de ble mistenkt for problemer og fjernet fra kortet, ikke var årsaken til problemene.

Påliteligheten for selve loddeforbindelsen eller BGA-kulene over tid, er dårligere enn for tilsvarende loddebein hos QFP-komponenter under "tøffe" temperaturvariasjoner. Dette skyldes at kulene er mindre fleksible enn beina og dessuten er mer følsomme for temperaturvariasjoner pga. ulik utvidelseskoeffisient lokalt på komponenten. Påliteligheten til BGA-kuler er likevel tilstrekkelig god nok for de aller fleste applikasjoner. Det er derfor viktig å ta hensyn til hva slags miljøkrav komponenten skal utsettes for når pålitelighetsdata for den aktuelle komponenten vurderes¹⁴. Motorola har kvalifisert sine BGA-komponenter til bruk innenfor en rekke ulike områder, som computers (PC, LapTop, DeskTop, WorkStation), kommunikasjonsutstyr ("pager", mobiltelefon, osv.) og andre (satelitt, bil, fotoutstyr o.l.). De påpeker også at BGA-pakken kan konstrueres slik at den møter tøffere krav fra f.eks. militært utstyr med strenge miljøkrav.

Pålitelighetsstudier har vist at "perimeter"-pakker, dvs. komponenter der BGA-kulene er fordelt langs komponentens ytterkanter og ikke under midten, har bedre pålitelighet enn for "full grid"-pakker (gjelder for PBGA-komponenter). Dette skyldes at de kulene som befinner seg under silisium-brikken blir utsatt for større termiske spenninger. Disse oppstår som en følge av at den termiske utvidelsen (CTE) er forskjellig for komponent-substratet og kretskortet pga. at silisiumbrikken er montert på komponent-substratet. Det er vist at pga. denne lokale variasjonen i CTE oppstår det først brudd i de BGA-kulene som ligger under silisiumbrikkens ytterkant under komponenten. Det er også mulig å kompensere for denne effekten ved å benytte et tykkere substrat i pakken.

¹² Publisert bl.a. under "Workshop on Ball Grid Arrays & Advanced Packaging" 30 August 1993, Sunnyvale (USA)

¹³ Publisert i artikkelen "High pin Count PBGA Assembly: Solder defect Failure Modes and Root Cause Analysis", S. Fauser et al, Proceedings of Surface Mount International Conference, San Jose (USA), 1994.

¹⁴ Pålitelighetsdata for alle BGA-komponenter fra Motorola er tilgjengelige ved forespørsel.

Evaluering av BGA-testkort

Det er ikke foretatt en fullstendig evaluering av testkortene. Hensikten med evalueringen har vært todelt, først og fremst å gjøre en vurdering av kvaliteten på testkortene etter BGA-montasje, men også å lære seg de forskjellige evalueringsmetodene. Det er mange metoder som kan anvendes for å evaluere BGA-komponenter og BGA-loddeforbindelser¹⁵. Prosjektet har tatt for seg enkel temperatursykling av testkort med BGA-komponenter, studert loddeforbindelsene etter temperatursykling med mikrofokusrøntgen og prøvd ut destruktiv testing gjennom mikroslip av BGA-kuler og “twist-off” testing av BGA-komponent montert på kort.

I en mer grundig studie kan man f.eks. foreta en pålitelighetsanalyse av BGA-komponentene som er montert. En slik analyse ville innebære en studie av de feilmekanismer som kan oppstå, akselerert levetidstesting med f.eks. temperatursykling og anvendelse av ulike inspeksjonsmetoder for å studere resultatet av testingen. Slike tester kan f.eks. være røntgenanalyse, bruddanalyse, Moirè-studier og mikroslip av komponent og kuler. Utfra disse resultatene kan levetiden til BGA-komponenten predikteres under gitte betingelser¹⁶.

Temperatursykling

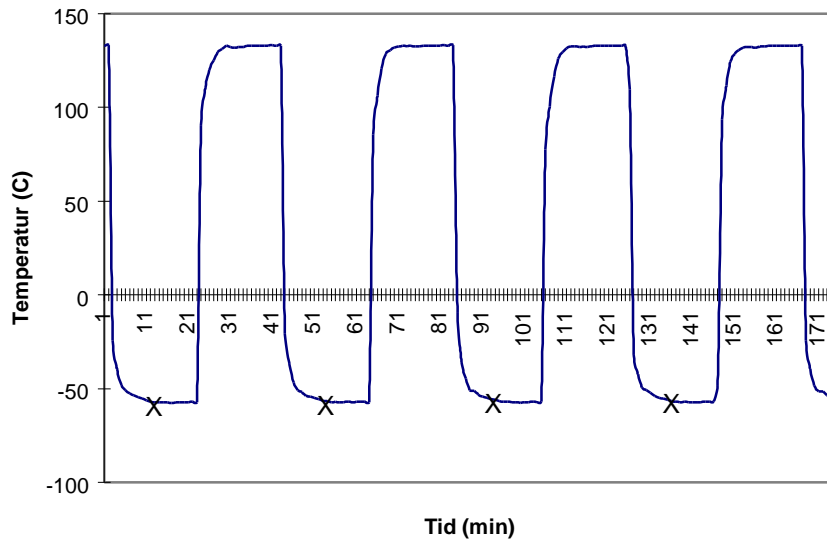
MIL-STD 883D Method 1010.7-B er benyttet for temperatursyklingen (-55 °C - 125 °C) av BGA-kortene. Denne metoden har en stor temperaturgradient mellom høy og lav temperatur. Det ble utført syklingsperioder på 30-100 sykler uten avbrudd i testprosedyren, som tabellen under viser. Mellom hver runde ble det målt elektriske motstanden (Ω) i dc-kjeden for hver komponent. På et av kortene ble det foretatt måling underveis i syklingsforløpet. Motstanden og temperaturen på kortet ble målt automatisk en gang for hver sykel. Tidspunktet for denne målingen er markert med X i figuren.

Tabell: Antall sykler i hver syklingsrunde.

Syklings runde	Antall sykler	Utført dato
1	30	16.07.96 - 17.07.96
2	30	17.07.96 - 18.07.96
3	30	18.07.96 - 19.07.96
4	90	19.07.96 - 22.07.96
5	30	22.07.96 - 23.07.96
6	30	23.07.96 - 24.07.96
7	40	24.07.96 - 25.07.96
8	30	25.07.96 - 26.07.96
9	100	26.07.96 - 29.07.96
10	40	29.07.96 - 30.07.96
11	50	30.07.96 - 01.08.96
Totalt	500	

¹⁵ Se f.eks. boka “BGA-technology”, J. Lau, McGraw&Hill (1995) for en gjennomgang av de mest vanlige evalueringsmetodene.

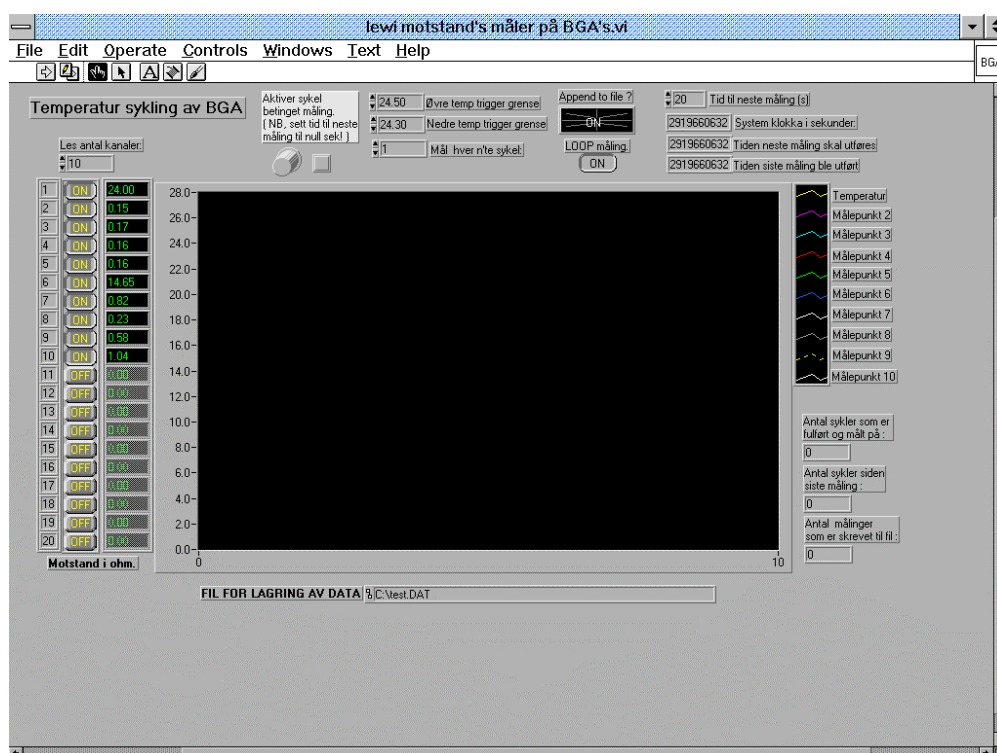
¹⁶ Levetiden (antall temperatursykluser) kan f.eks. predikteres ved å benytte modifisert Coffin-Manson ligning eller utfra FEM-analyser.



Figur: Temperaturforløp i kammer de fire første syklene som funksjon av tid. Tidspunkt for måling av elektrisk motstand og temperatur på kortet er markert med X.

Et termisk syklingskap (to-kammer) er benyttet. I skapet plasseres prøvene på hyller i et heiskammer, og den termiske syklingen foregår ved at dette kammeret flyttes mellom nedre (kaldt) og øvre (varmt) kammer. Skapet styres gjennom et internt dataprogram, med ferdige testprosedyrer liggende inne, bl.a. MIL-tester. En flatkabel med 40 ledere ble benyttet for å koble sammen måleinstrumentene på utsiden av skapet og testkortet i kammeret.

Elektrisk motstand (Ω) i daisy-chain(dc)-kjedene på BGA-testkortet er målt med 4-punkts måling. Temperaturen på BGA-kortet ble også målt vha. termoelement (T-type), festet til kortet med koppertape. Et selvutviklet LabVIEW-program sørget for data-innsamling under den termiske syklingen. Programmet er skrevet i LabVIEW versjon-3.1. Figuren viser LabVIEW programmets frontpanel.



Figur. LabVIEW program for datainnsamling av temperatur- og motstandsmåling på testkortet under temperatursykling.

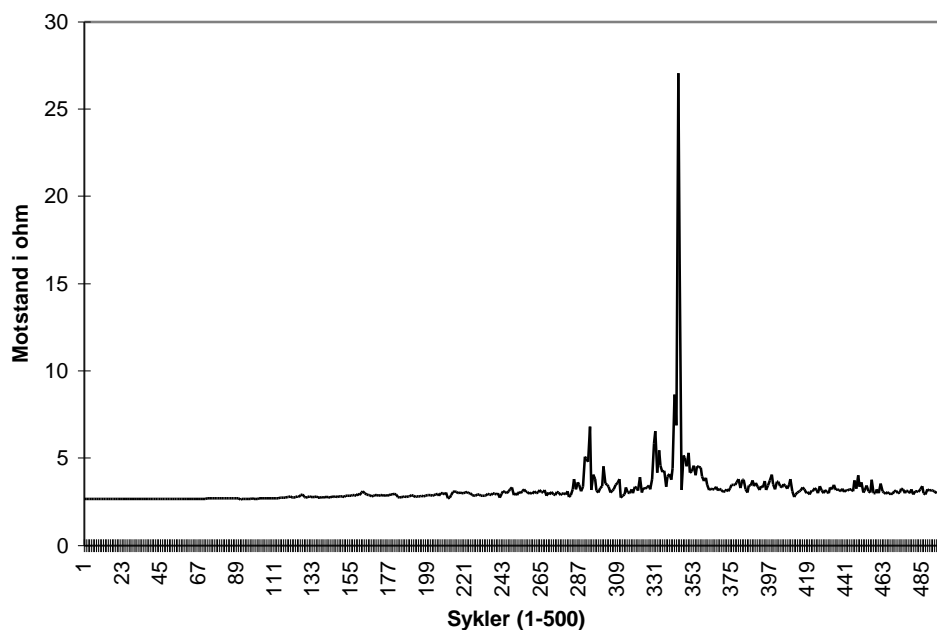
Instrument liste

Tabell. Instrumentliste for måling av elektrisk motstand i dc-kjedene på testkortet.

Kode / Firma	Navn	Opplysninger	Serie nr.
FLUKE 2620 A	Hydra Data Acquisition Unit	20 kanaler	59 16 500
COMPAQ	Contusa 4/25c	Bærbar PC	7325HDR21509
National Instruments	GPIB-1284CT Parallel Controller	IEEE 488.2	05450
Heraeus	Cycling Test Chamber HT 7012 S2		60886143

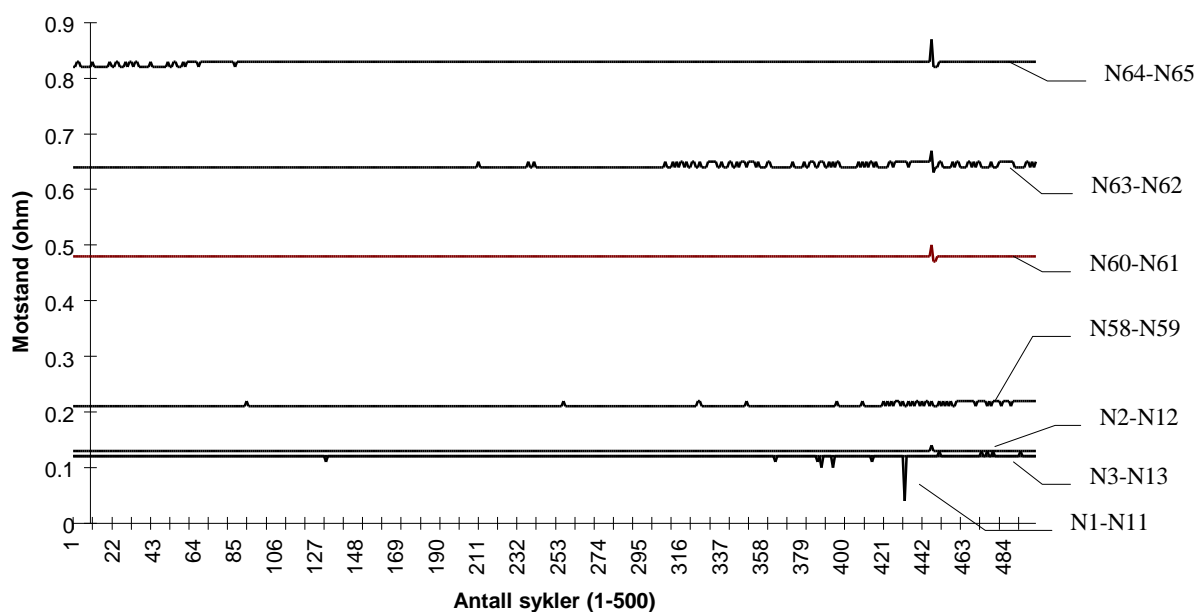
Måleresultater

Et av testkortene ble studert mer inngående ved at den elektriske motstanden i dc-kjedene ble målt en gang pr. sykel. det er dermed mulig å finne ut nøyaktig etter hvor mange sykler det har oppstått brudd i en dc-kjede. men det er også mulig å studere om motstanden i kjeden øker, noe som vil indikere at det har skjedd endringer i strukturen som på sikt vil utvikle seg til et brudd. På figurene som følger er elektrisk motstand i hver enkelt dc-kjede på dette kortet vist som funksjon av antall temperatursykler. Den første figuren viser hvordan motstanden i en av dc-kjedene på en av BGA256-komponentene endrer seg som funksjon av antall sykler. Motstanden er målt med en 2-punkts måling pga. begrensninger i måleoppsettet, og er derfor ikke like nøyaktig som de andre måleseriene. Figuren antyder en svak økning i motstanden etter 500 sykler, men denne kan også skyldes degradering av selve målepunktet som en følge av temperatursyklingen siden mållingen kun er en 2-punkts måling.



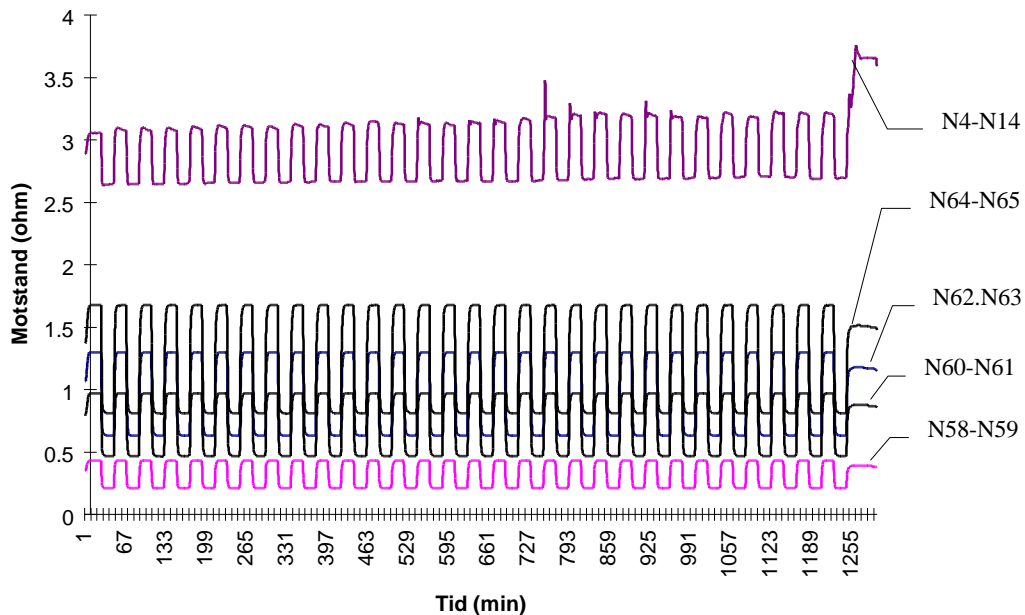
Figur: Motstand (Ω) som funksjon av antall sykler for målepunkt N4-N14 (dc-kjede i nedre venstre hjørne på øvre BGA256-komponent) på kort NO-2. "Spiker-målingen" etter ca. 350 sykler er sannsynligvis en målefeil. (2-punkts måling pga. begrensninger i måleoppsettet.)

Den neste figuren viser motstanden som funksjon av antall sykler for de resterende målepunktene på BGA256-komponenten og alle dc-kjedene på BGA313-komponenten. Disse punktene er alle målt med 4-punkts måling, og ved eksakt samme tidspunkt i temperatur-sykel forløpet. Målingene ble utført når temperaturen nådde -55°C på nedadgående temperaturflanke. Det er her ikke mulig å se noen endring i den elektriske motstanden etter 500 sykler. dc-kjedene på BGA313-komponenten har ulik lengde, og har derfor forskjellig motstandsverdi.



Figur: Motstand (Ω) som funksjon av antall sykler for målepunkt på kort NO-2 (BGA256- og BGA313-komponent).

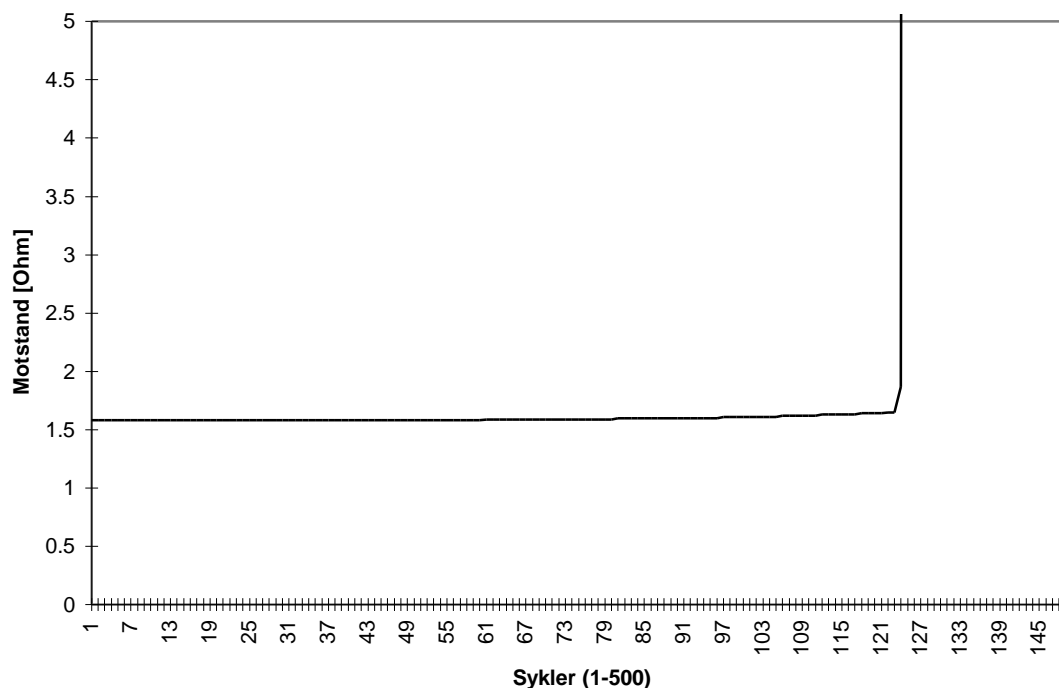
Under den første syklingsperioden (dvs. de 30 første syklene) ble motstanden i det foretatt motstandsmåling hvert minutt, slik at det var mulig å følge tidsendringene underveis i syklingsforløpet. Figuren under viser målt motstand på kortet som funksjon av tid for de 30 første syklene. Etter 30 sykler ble syklingskapet stoppet for kontrollmåling på alle kortene. Dette er grunnen til at målt motstand i figuren tilsynelatende slutter å variere mot slutten av grafen. Punkt N4-N14 er 2-punkts måling, resten er 4-punkts målinger. Grafen viser tydelig at motstanden i dc-kjedene endrer seg med temperaturen, men endringen er lik for hver temperatursykel.



Figur: Motstand (W) som funksjon av tid for målepunkt på kort NO-2. 2-punktsmåling for målepunkt N4-N14, ellers 4-punkts måling. (BGA313-komponent)

Den siste grafen viser motstanden i dc-kjeden under BGA-400 brikken på kortet, som funksjon av antall sykler. Motstanden i dc-kjeden endret seg drastisk mellom 124. og 125. temperatursykel, noe som indikerer at det oppsto et brudd i kjeden under denne syklene.

Skal man trekke noen konklusjoner etter den temperatursyklingen som er foretatt på tre av testkortene, må det være at loddeforbindelsene på BGA256- og BGA313-komponentene ikke endrer seg etter 500 temperatursykler -55°C - 125°C . For BGA400-komponenten indikerer målingene at komponenten tåler ganske mange sykler, men at det er sannsynlig at det oppstår brudd i en eller flere loddeforbindelser ved en så stor temperaturpåkjenning. Når det gjelder CBGA-komponenten tålte den ikke temperatursyklingen i det hele tatt, dvs. at det oppsto brudd i kjeden (komponenten løsnet faktisk fra kortet) i den første temperatursykelen.



Figur: Motstand (W) som funksjon av antall sykler for målepunkt N47-48 på kort NO-2. Grafen indikerer et brudd i dc-kjeden etter 125 temperatursykler (-55 - 125 °C).

Status på BGA-testkort under temperatursykling

Tabellene på neste side viser motstandsmåling foretatt på tre testkort under temperatursykling. For et av kortene foregikk målingen kontinuerlig, mens for de andre ble målingen foretatt etter 30, 60, 90, osv. antal sykler. Den elektriske motstanden i de ulike dc-kjedene (se tidligere) på kortet er målt vha. fire-punkts måling.

Tabel: Elektrisk motstand som funksjon av antall temperatursyklinger (-55°C - $+125^{\circ}\text{C}$) for kort K-1.

Antall sykler	Elektrisk motstand (Ω) i dc-kjeder (Nx-Ny) på BGA-testkort									
	BGA313				BGA361	BGA400	BGA256			
	N62-63	N58-59	N60-61	N64-65	N8-N18	N47-N48	N1-11	N2-12	N3-13	N4-14
0	0,82	0,23	0,58	1,06	14,66	X	0,15	0,17	0,15	0,16
30	0,85	0,24	0,60	3,7	BGA falt av!	X	0,16	0,17	0,16	0,17
60	0,86	0,24	0,61	4,08	X	X	0,16	0,17	0,16	0,17
90	0,85	0,24	0,56	2,96	X	X	0,15	0,17	0,16	0,17
180	0,91	0,26	0,64	5,01	X	X	0,15	0,19	0,17	0,18
210	0,85	0,24	0,59	5,57	X	X	0,15	0,17	0,16	0,17
240	0,87	0,24	0,61	3,48	X	X	77,98	0,18	0,17	0,17
280	0,89	0,25	0,63	7,22	X	X	0,16	0,18	0,17	0,18
310	0,94	0,27	0,66	6,64	X	X	0,16	0,19	0,18	0,19
410	0,92	0,26	0,65	9,49	X	X	0,15	0,19	0,18	0,18
450	0,87	0,25	0,61	8,31	X	X	0,16	0,18	0,17	0,17
500	0,85	0,24	0,60	28,64	X	X	0,15	0,18	0,16	0,17

Tabell: Elektrisk motstand som funksjon av antall temperatursyklinger (-55°C - +125°C) for kort TD-1.

Antall sykler	Elektrisk motstand (Ω) i dc-kjeder (Nx-Ny) på BGA-testkort									
	BGA313				BGA361	BGA400	BGA256			
	N62-63	N58-59	N60-61	N64-65	N8-N18	N47-N48	N1-11	N2-12	N3-13	N4-14
0	0,98	0,30	0,71	1,25	X	2,26	0,17	0,19	0,17	0,18
30	1,02	0,31	0,74	1,31	X	2,34	0,17	0,19	0,18	0,19
60	1,04	0,32	0,75	1,33	X	2,38	0,18	0,20	0,18	0,19
90	1,00	0,31	0,73	1,29	X	2,32	0,17	0,19	0,17	0,18
180	1,13	0,35	0,83	1,45	X	2,80	0,18	0,22	0,19	0,21
210	1,00	0,31	0,73	1,28	X	1E+09	0,17	0,19	0,18	0,18
240	1,04	0,32	0,75	1,33	X	1E+09	75,95	0,20	0,18	0,19
280	1,07	0,33	0,78	1,38	X	1E+09	30,51	0,21	0,18	0,20
310	1,17	0,39	0,86	1,50	X	1E+09	0,19	0,22	0,19	0,22
410	1,10	0,38	0,80	1,41	X	1E+09	0,18	0,21	0,19	0,20
450	1,05	553,8k	0,79	1,34	X	1E+09	0,18	0,20	0,18	0,19
500	1,02	1E+09	0,74	1,3	X	1E+09	0,17	0,20	0,20	0,19

Tabell: Elektrisk motstand som funksjon av antall temperatursyklinger (-55°C - +125°C) for kort NO-2.

Antall sykler	Elektrisk motstand (Ω) i dc-kjeder (Nx-Ny) på BGA-testkort									
	BGA313				BGA361	BGA400	BGA256			
	N63-62	N58-59	N60-61	N64-65	N8-N18	N47-N48	N1-11	N2-12	N3-13	N4-14 †
0	0,93	0,31	0,69	1,19	67,33	2,28	0,17	0,19	0,17	2,73
30	0,96	0,32	0,71	1,23	1E+09	2,33	0,17	0,19	0,18	2,86
60	0,97	0,32	0,72	1,25	1E+09	2,34	0,17	0,20	0,18	2,85
90	0,95	0,31	0,71	1,22	1E+09	2,34	0,17	0,19	0,18	2,90
180	1,09	0,37	0,82	1,40	1E+09	1E+09	0,17	0,21	0,21	4,48
210	0,94	0,31	0,70	1,21	1E+09	1E+09	0,17	0,19	0,18	2,83
240	0,97	0,32	0,73	1,25	1E+09	1E+09	0,17	0,19	0,19	3,11
280	1,00	0,33	0,75	1,29	1E+09	1E+09	0,17	0,20	0,19	3,11
310	1,13	0,38	0,85	1,45	1E+09	1E+09	2,39	0,22	0,22	4,78
410	1,05	0,35	0,79	1,35	1E+09	1E+09	0,17	0,21	0,20	3,64
450	0,99	0,33	0,74	1,27	BGA falt av	1E+09	0,18	0,20	0,19	4,21
500	0,96	0,32	0,72	1,23	X	1E+09	0,17	0,19	0,19	5,37

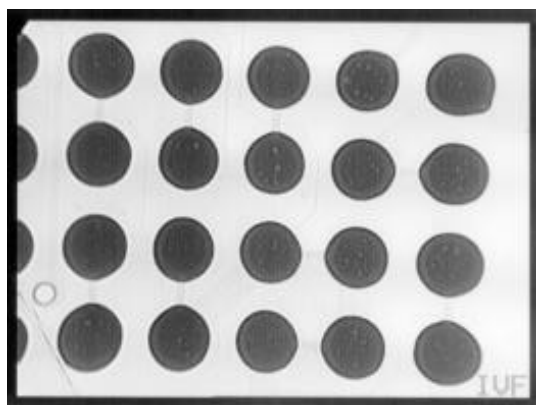
† Målepunkt N4-N14 er to-punkts måling, og derfor ligger motstandsverdiene høyere enn for de andre dc-kjedene.

Mikrofokusrøntgen

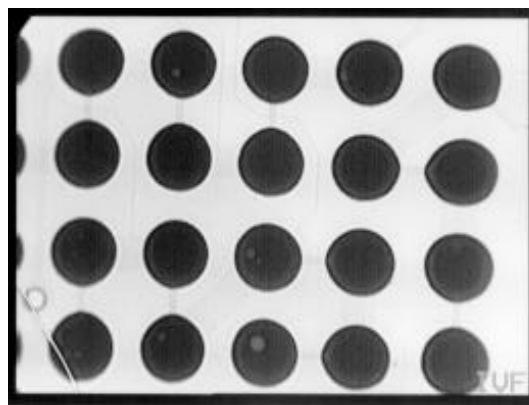
Det er umulig å inspisere alle loddeforbindelsene under en BGA-komponent visuelt uten å bruke røntgenutstyr. Røntgen kan avsløre om en loddeforbindelse er god, dvs. om den fukter både komponent og kort, om loddeforbindelsen har smeltet sammen med nabokula, om loddeforbindelsen mangler, eller hvordan strukturen i selve loddeforbindelsen er (antall porer, form, osv.). Loddesprut og tinnflukt vil også avsløres i røntgenstudier. Likevel vil ikke røntgenkontroll av monterte BGA-komponenter inngå som en del av en OFM-linje. Dette skyldes at dersom loddetinn og flussmiddel først er tilstede på kortet og alle kulene på BGA-komponenten er inntakte, kan reflow-prosessen med BGA-komponenter kjøres med tilnærmet 100% utbytte uten inspeksjon i det hele tatt. Røntgen vil kun benyttes i en innkjøringsperiode for å verifisere at prosessen er optimalisert.

I dette prosjektet er røntgenteknikk brukt for å studere loddeforbindelsene under BGA-komponentene etter termisk sykling (500 sykler). Det var interessant å undersøke om røntgenbildene kunne avsløre hvor et eventuelt brudd i dc-kjeden hadde oppstått og om det eventuelt var andre tegn på degradering av loddeforbindelsene. IVF i Gøteborg har et mikrofokusrøntgen-utstyr (røntgenmikroskopering¹⁷) som kan studere loddeforbindelsene på testkortet i detalj. Oppløsningen på instrumentet ligger i μm -området.

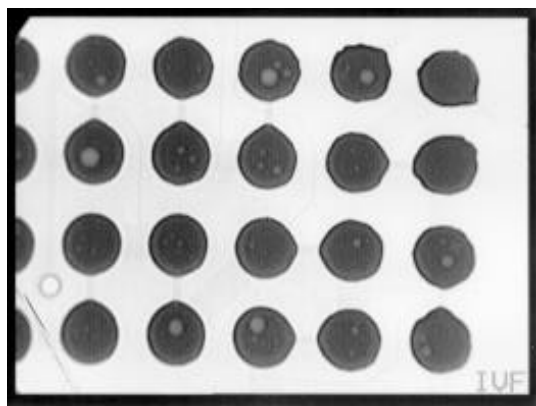
Prosjektet har evaluert loddeforbindelsene på enkelte av kortene, både de som er utsatt for termisk sykling og de som kun er montert. Noen typiske røntgenbilder fra evalueringen er vist på de neste to sidene.



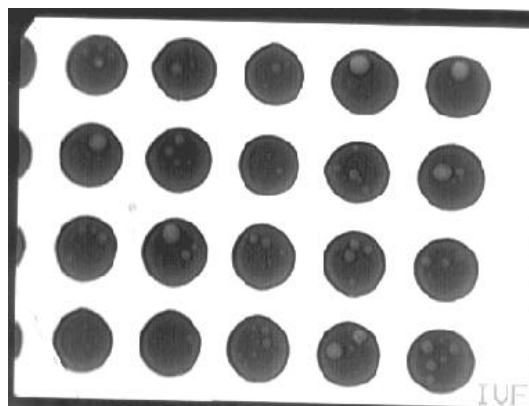
Figur: Mikrofokusrøntgen, BGA256, øvre høyre hjørne på kort K-1. Mange små porer i hver loddefuge.



Figur: Mikrofokusrøntgen, BGA256, øvre høyre hjørne på kort TD-1. Få porer, men enkelt loddefuger med store porer.

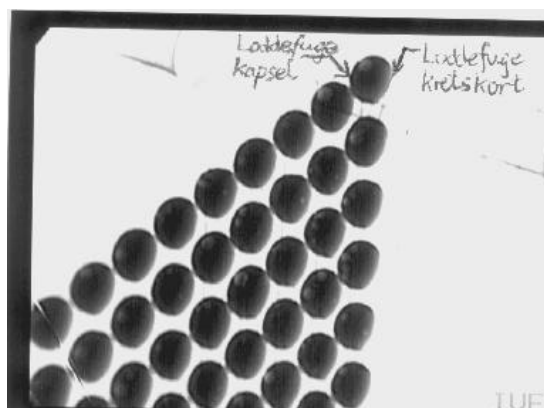


Figur: Mikrofokusrøntgen, BGA256, øvre høyre hjørne på kort NO-2. Noen store porer samt litt ujevn med fugeform.

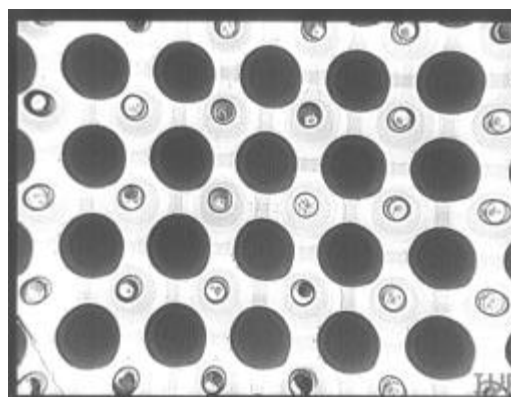


Figur: Mikrofokusrøntgen, CBGA361, øvre høyre hjørne på kort TD-1. Mange porer i størrelse 0.10-0.20 mm. Figur 20 viser samme bilde tiltet og rotert.

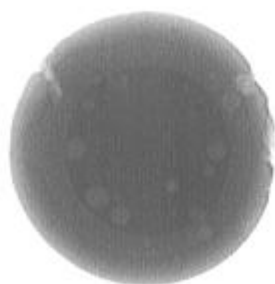
¹⁷ Denne teknikken er beskrevet i detalj flere steder, bl.a. i magasinet "Modern elektronik", se utgave 2-5 1992.



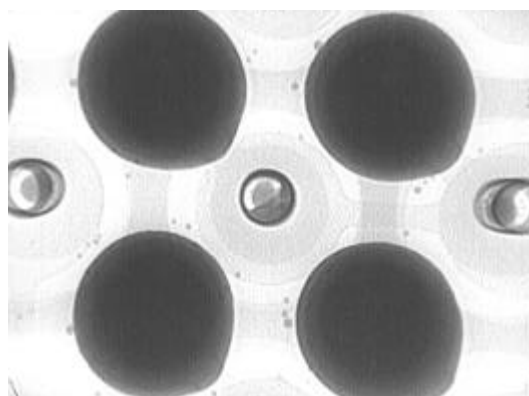
Figur: Mikrofokusrøntgen, CBGA361, øvre høyre hjørne. Ca. 30° tilt og 60° rotert. Høyre del av loddefugen er mot krets-kortet, venstre del mot kapselen. Porene ligger konsentrert i området nærmest kapselen.



Figur: Mikrofokusrøntgen, BGA400, midtparti av komponent på kort S-1. Meget få porer og jevn fugeform. Imidlertid antydninger til "loddessprut" og loddetinn-rester i viahull.



Figur. BGA-kule m/porer kraftig forstørret. På overflaten ses også enkelte krater fra porer som har kolapset på overflaten mot slutten av reflow-prosessen.



Figur: Loddessprut rundt BGA-kulene ses som små partikler rundt kulene.

Røntgen-bildene av BGA-kortene viser at montasjen har vært vellykket og at BGA-kulene har god heft til kortet. Generelt sett har loddefugen en fin form og inneholder forholdsvis få porer. Det er lite loddessprut og sammensmelting av kuler eller manglende kuler forekommer ikke. IVF har gitt detaljerte kommentarer for hver enkelt komponent som er studert, se eget avsnitt. Røntgenundersøkelsene avslørte imidlertid ikke at det var brudd i enkelte dc-kjeder, dvs. i loddeforbindelsen under enkelte av komponentene. Det var ikke mulig å avsløre mikrosprekk-dannelsen i BGA-kulene uten detaljerte røntgenstudier. Dermed var det vanskelig å finne ut hvorfor og hvordan det var oppstått brudd i dc-kjedene.

Antall porer og størrelsen på de varierte tildels mye fra komponent til komponent og fra kort til kort. Når poretettheten avsløres i røntgen, er det lett å bli skeptisk til BGA-teknologien mhp. påliteligheten. Men da er det viktig å være klar over at det alltid oppstår porer under reflow, selv for en vanlig QFP-komponent o.l. Her kan endog poretettheten og størrelsen være enda mer kritisk enn for BGA-komponenter. Det er dessuten vist at påliteligheten er større for loddeforbindelser

med små porer jevnt fordelt i øvre del av kula¹⁸. Likevel bør man unngå for stor konsentrasjon av porer (over 10-15 pr. kule) og store porer (> 15-20 µm). Det er derfor viktig å velge riktig loddepasta¹⁹ og å benytte den temperaturprofilen som anbefales av pastaprodusenten (i hvert fall som et utgangspunkt). For PBGA-komponenter vil BGA-kuler hvor det kun er benyttet flussmiddel faktisk gi best resultat i følge Motorola. Påliteligheten til BGA-komponenter er diskutert i litteraturen²⁰.

Kommentarer fra IVF

En samlet vurdering av BGA-kortene gir at fuktingen til kretskortet generelt er god. Derimot varierer poretetthet og porestørrelse i loddefugene en god del bedriftene i mellom, men også fra komponent til komponent på den enkeltes bedrifts testkort. Porene ligger stort sett i øvre del av loddefugen, dvs. opp mot kapselen. Eventuelle sprekker i loddefugene har ikke vært mulig å detektere. Når det gjelder eventuelt loddetinn i mellom loddefugene i form av loddesput eller små loddekuler, er det generelt lite av dette. Noen loddekuler kan dog observeres på testkortets bakside, fortrinnsvis under BGA400-komponenten.

Testkort K-1

- BGA313: Typisk 1-5 porer/loddefuge, størrelse < 0.10 mm. Enkelte porer opp mot 0.25 mm. Relativt jevn fugeform, men mer ujevn mot hjørnene. Komponenten på kant-raden har noen flere porer enn senter-rad komponenten, men jevnere form fugene.
- BGA361: Typisk 1-10 porer/loddefuge, størrelse opp til 0.20 mm. Jevn fugeform. Nedre BGA har tendens til noen flere porer.
- BGA400: Typisk 1-5 porer/loddefuge. Stort sett loddefuger med svært få og små porer (< 0.10 mm). Enkelte porer opp til 0.15 mm. Jevn fugeform. Nedre BGA har tendens til noen flere porer.
- BGA256: Typisk 2-5 porer/loddefuge, små porer < 0.10 mm, med enkelte opp til 0.15 mm. Jevn fugeform.

Testkort TD-1

- BGA313: Typisk 1-5 porer/loddefuge, størrelse opp til 0.25 mm. Noe ujevn fugeform, og mindre størrelse på fugene mot hjørnene. Komponenten på kant-raden har noen flere porer enn senter-rad komponenten, men jevnere form fugene.
- BGA361: Typisk 2-5 porer/loddefuge, størrelse opp til 0.27 mm. Relativt jevn fugeform. Nedre BGA har tendens til noen flere porer.
- BGA400: Typisk 1-5 porer/loddefuge. Stort sett loddefuger med svært få og små porer (< 0.10 mm). Enkelte porer opp til 0.15 mm. Jevn fugeform.
- BGA256: Typisk 1-5 porer/loddefuge. Mange porefrie fuger. Porestørrelse opp til 0.20 mm. Jevn fugeform.

¹⁸ Porene vil alltid dannes i øvre halvdel av loddeforbindelsen pga. at de stiger opp under reflow-prosessen. Enkle porer kan ses på kuleoverflaten som små krater, se figur til venstre øverts på siden.

¹⁹ Motorola viser i en studie at % porevolum i en kule kan variere fra 0.47 % til 23.7 % ved bruk av forskjellige typer loddepasta under ellers like betingelser.

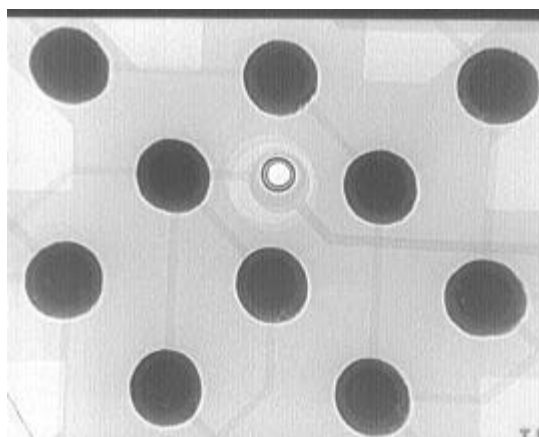
²⁰ Se f.eks. artikkelen: "*The effects of solder joint voiding on plastic ball grid array reliability*", D.Banks et. al., Motorola Semiconductors

Testkort NO-2

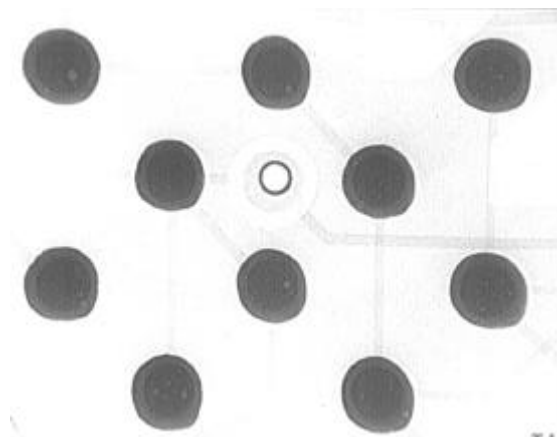
- BGA313: Typisk 1-5 porer/loddefuge, størrelse opp til 0.15 mm. Ujevn porestørrelse, samt små fuger i hjørnene. Jevnere og større fugeform i midten.
- BGA361: Typisk 5-10 porer/loddefuge, størrelse opp til 0.15 mm. Jevn fugeform.
- BGA400: Typisk 1-5 porer/loddefuge, størrelse < 0.10 mm. Enkelte porer opp til 0.25 mm. Generelt jevn fugeform, men noe mer ujevn mot hjørnene.
- BGA256: Typisk 2-10 porer/loddefuge, små porer < 0.10 mm, med enkelte opp til 0.25 mm. Jevn fugeform.

Variasjon i porestørrelse

Den første runden med montering av komponenter på testkort, indikerte en sammenheng mellom porestørrelse og loddepasta. Derfor ble det kjørt en ny runde hos hhv. Kongsberg og Tandberg for å undersøke dette nærmere. Testkortet fra Tandberg hadde i den første røntgen-studien generelt større porer i loddefugene enn Kongsbergs kort. Loddepastaen og reflow-utstyret skilte de to monteringsprosessene fra hverandre. Derfor ble det kjørt en ny monteringsrunde i de to bedriftene. Tandberg monterte komponenter på to testkort og brukte de to aktuelle loddepastaene (se “*Monteringsparametre*”). Kongsberg monterte kun et kort med egen loddepasta for å verifisere at det første kortet var representativt for prosessen. Kortene ble undersøkt med røntgenmikroskopering for å eventuelt avsløre om forskjellen i porestørrelsen kunne skyldes loddepastaen eller reflow-utstyret, dvs. temperaturprofilen under lodding. Figurene under viser resultat fra røntgenundersøkelsen av disse kortene.



Figur: Mikrofokusrøntgen, BGA361. Pastatype 1 er benyttet (Koki CH-10-763K).



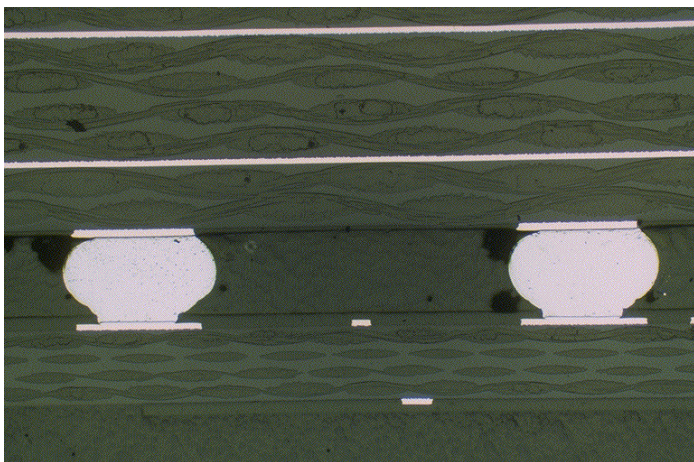
Figur: Mikrofokusrøntgen, BGA361. Pastatype 2 er benyttet (Indium NC-SMQ51SC)

Sammenhengen mellom porestørrelse og pasta/reflow-utstyr var ikke like tydelig på disse kortene, og det var derfor ikke mulig å trekke noen konklusjoner mhp. hvilken pasta eller hvilket reflow-utstyr som gir minst porer i BGA-kulene.

Destruktiv evaluering

Mikroslip

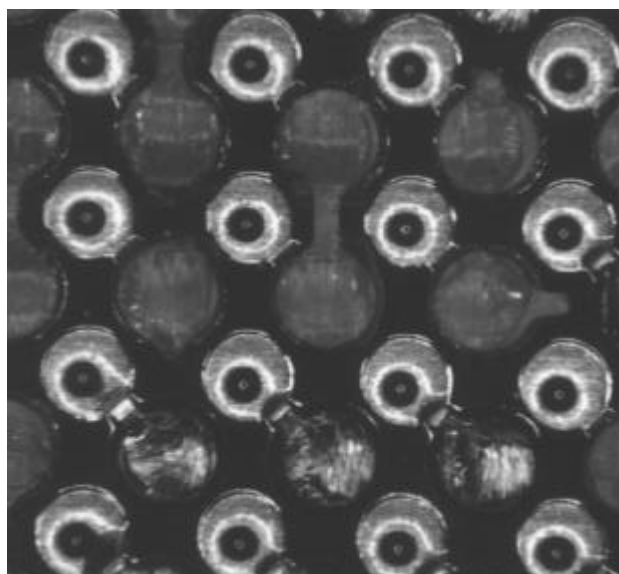
Et snitt av loddefugene er undersøkt i mikroskop for å studere heft til kretskortet etter lodding. Et slikt snitt er vist i figuren under. Her ses også typisk form på BGA-kulen etter montasje. Kula er litt flatklemt, men har god heft til både komponent og kretskort. Figuren viser en loddemaske-definert pad. Vanligvis vil man anbefale ikke-loddemaske-definerte pad'er på PBGA-komponenter, se tidligere omtale av dette. Ved temperatursykling eller andre former for belastning (f.eks. vibrasjoner) vil det oppstå sprekke dannelse i øvre og nedre del av loddeforbindelsen. Her er påkjenningen størst, og det er derfor viktig at kula har god heft både til kretskort og komponent.



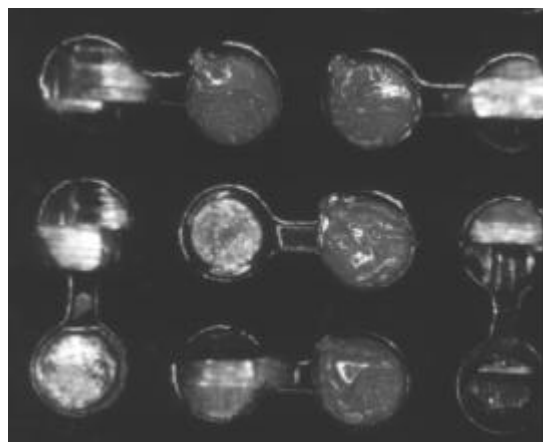
Figur: Snitt gjennom loddekuler (BGA256) på kort fra Tandberg Data. God heft til kretskort og kapsel. (Mikroskop-bilde, forstørret)

“Twist-off” test

En såkalt "twist off"-test er foretatt hos Kongsberg. Komponentene blir forsøkt vridd av kortet med et gitt moment slik at de løsner fra kretskortet, eventuelt fra loddefugene. Loddefugene på komponent og kapsel er så studert i mikroskop. Testen viste at komponentene satt svært godt fast på kortet, spesielt BGA400-komponenten som var svært vanskelig å få vridd av kortet med utstyret som ble benyttet. Evalueringen viste at BGA-kulene ikke var det svakeste punktet i forbindelsen. Det var festet til kortet eller komponenten som ga etter under testen.



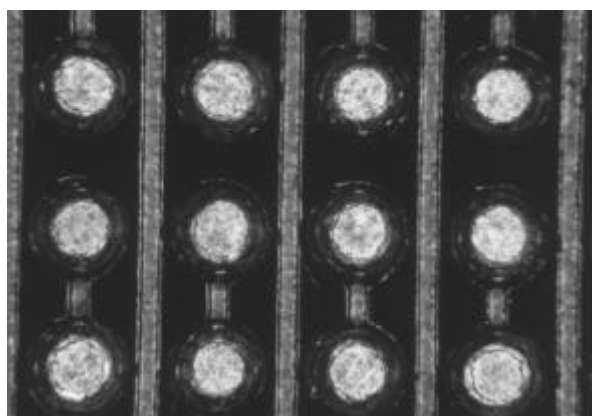
Figur: Testkort hvor BGA400-komponenten er vridd av kortet. Loddepad'en er revet løs fra kortet og fulgt med BGA-kula, dvs. at kortet er svakere enn loddeforbindelsen



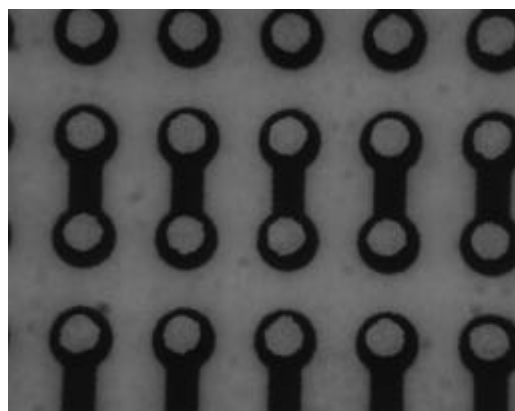
Figur: BGA400-komponent som er vridd av testkortet. Loddekula sitter enten fast på komponenten eller har løsnet helt fra pad'en.

Evalueringen av montasjen viste at CBGA-komponenten satt svært dårlig fast på testkortet. Dette var i og for seg ingen overraskelse, da materialegenskapene til komponent og testkort er vesentlig forskjellig. Dette medfører bl.a. at det oppstår store termiske spenninger under temperaturvariasjoner pga. ulik termisk utvidelse, og disse får komponenten til å løsne fra kortet relativt lett. CBGA-komponenten løsnet bl.a. helt fra kortet allerede under den første temperatursykelen. Materialstivheten er også helt forskjellig, slik at komponenten spretter av kortet dersom dette vris eller bøyes.

Studier av CBGA-komponentene som løsnet fra kortet viste at bruddet i loddeforbindelsen oppsto der BGA-kula var festet til keramikk-komponenten. Alle loddekulene sto igjen på kortet med rester av loddepad'en på overflaten. Komponentene hadde bare krater igjen i pad-mønsteret. Det er noe usikkert hvorvidt denne dummy-komponenten er representativ for andre CBGA-komponenter, men erfaringene fra evalueringen viser store problemer knyttet til bruk av denne typen BGA-komponent på FR-4 mønsterkort. Bildene under forsøker å vise kort og komponent etter at den har løsnet fra kortet.



Figur: Testkort hvor CBGA361-komponenten har falt av testkortet under temperatursykling. BGA-kule og deler av loddepad'en på komponentsiden sitter igjen på kortet.



Figur: Loddepad'er på CBGA361-komponent som har løsnet fra kortet under temperatursykling. BGA-kulene har tatt med seg deler av pad'en og laget kratre i komponentoverflaten.

Studietur

USA 2-10. desember 1996

Hensikt

Hensikten med studieturen var å undersøke utbredelsen av og status på BGA-teknologien, og hvordan komponentprodusenter og utstyrsleverandører vurderer denne teknologien i tiden framover. Det var viktig å undersøke hvor langt pålitelighetstesting av denne pakkemetoden var kommet hos de enkelte aktørene. Samtidig skulle gruppen avstemme sine erfaringer opparbeidet i prosjektet mot kunnskaper hos ledende internasjonale produsenter og brukere av teknologien.

Hvem vi skulle besøke

- Motorola Semiconductor, Austin
- IBM, Austin
- Amkor Anam, Phoenix
- Universal Instruments, Binghamton

Temaer til diskusjon

- Teknologiprinsipper
- Pålitelighet
- Monteringsprosess
- Reparerbarhet (rework)
- Utbredelse og trender



Bilde: Prosjektgruppen samlet utenfor Motorola Customer Applications Support and Reliability Test Center i Austin, Texas, sammen med Glenn Dody og Andrew Mawer fra Motorolas Advanced Packaging Technology Group.

Oppsummering av inntrykk

- BGA-teknologien er gjennomprøvd og vil bli tatt i bruk i stadig flere komponenter i tiden framover. Bedriftene vi besøkte hevder at teknologien vil bli den dominerende pakketeknologien på større komponenter i løpet av en toårsperiode. For en del komponenter er allerede BGA-teknologien den foretrukne konnekteringsmetoden.
- Omfattende pålitelighetsstudier foretatt hos alle bedriftene viser at BGA-teknologien er god nok for de fleste aktuelle applikasjoner.
- Dagens monteringsutstyr kan med ubetydelige investeringer håndtere BGA-komponenter. Prosess-yield'en for BGA-komponenter er vesentlig bedre enn for tilsvarende QFP-pakker.
- Erfaringene fra bedriftene vi besøkte tilsier at rework på BGA-komponenter er enkelt forutsatt at man har egnet utstyr.
- Alle komponentprodusentene vi besøkte tilbyr et bredt spekter av BGA-komponenter, bl.a. sender Motorola ut en ny komponent i BGA-versjon hver uke. Pakketeknologien er spesielt anvendt i produktområder hvor kravene til miniatyrisering er et kritisk moment, samt for applikasjoner med over 200 I/O-konnekteringer. Utviklingen i tiden framover vil forsterke denne trenden.
- Ved valg av BGA-pakke må komponentkvalitet mhp. fuktighet, ko-planaritet, kvalitet av BGA-kuler og korrosjon vurderes for å oppnå best mulig kvalitet.
- Motorola uttalte bl.a. følgende: "Teknologien vil bli dominerende for store komponenter (> 200 I/O) samt på områder hvor kravene til miniatyrisering er et kritisk moment."
- Universal har ledet et konsortium hvor 32 internasjonalt ledende bedrifter, bl.a. Motorola, Amkor Anam og IBM har deltatt. Det er her lagt ned betydelige forskningsressurser på alle sider ved BGA-teknologien.
- Det teknologiske og erfaringsmessige utbyttet av studieturen var svært verdifullt for BGA-prosjektet som gruppen har gjennomført.
- Gruppen knyttet viktige kontakter med en rekke resurspersoner i de enkelte bedriftene, og disse kan være til stor hjelp ved senere anledninger.

Status BGA hos Motorola

- PBGA-komponenter i Motorola-produkter siden 1989
- Standard komponenter som i dag leveres i QFP kommer ikke i ny BGA-versjon
- Nye komponentfamilier lages i BGA dersom I/O er større enn ca. 200 eller pakketetthet tilsier BGA-terminering
- Motorola sender ut en ny BGA-komponent hver uke
- Produktområder hvor PBGA anvendes hos Motorola: Mobil, radio, telecom, satellitt, PC
- Eksempel på komponenttyper hvor BGA-terminering er brukt: SRAM, DRAM, RISC μ P, CISC μ P
- Eks. 1: Modem-komponent (BGA 357): Produseres i 50.000 enheter i uka
- Eks. 2: DRAM-komponent (BGA 119): Produseres i 25.000 enheter i uka
- Eks. 3: Memory-brikke (BGA 258): 4 flip-chip monterte RAM-kretser montert på substrat i PBGA-pakke
- Motorola har samarbeidet med IBM siden 1993/4 på CBGA gjennom utvikling av C4-teknologien

Konklusjoner

Dagens trender innen elektronikk pakketeknologi kan oppsummeres med økt klokkefrekvens, behov for et større antall I/O-utganger og en generell miniatyrisering av produkter. Dette har presset dagens montasjeteknologi mot ytterpunktene, og industrien er på jakt etter nye teknologier for å unngå 'fine-pitch'-problematikken. Ball Grid Array (BGA)-teknologien anses av mange for å være løsningen på disse problemene, som den første teknologien i utviklingen av kompakt elektronikk i årene framover.

Erfaringene fra prosjektet kan oppsummeres under følgende punkter:

- BGA-komponent
 - ⇒ Foretrukket teknologi for høy I/O og høy ytelse
 - ⇒ Gir bedre arealutnyttelse på kretskortet
 - ⇒ Pålitelig pakketeknologi
- BGA-montasje
 - ⇒ Gir høyt prosess-utbytte (yield)
 - ⇒ Enklere å håndtere enn QFP-komponenter
 - ⇒ BGA-komponenter er selvjusterende under reflow
 - ⇒ Teknologien er forenelig med dagens OFM-utstyr/teknologi
 - ⇒ BGA krever fokus på prosessstyring
- Bedre produksjonsøkonomi
 - ⇒ Ingen visuell kontroll nødvendig ved BGA-montasje
 - ⇒ Ingen produksjonstest mulig
 - ⇒ "0-feil" konsept mulig
- BGA-teknologien er første steg i kommende generasjons termineringsteknologi
- BGA-prosjektet er en "mal" for fremtidige EPF-prosjekter, med finansiering direkte fra Forskningsrådet, FoU-innhold/teknologioverføring og et tett samarbeid med SINTEF. Prosjekter av denne kategori krever sannsynligvis en "erfaren" bemanning.
- Motorola karakteriserer BGA-teknologien med at BGA er den ideelle konnekteringsteknologien.

Prosjektgruppen konkluderer videre med at den har utredet BGA-teknologien for norsk IT-industri. Deltakerbedriftene har hver for seg konkludert med at de behersker teknologien i egen produksjon i som en følge av prosjektet.

Ytterligere kommentarer

- BGA-teknologien er gjennomprøvd og vil bli tatt i bruk i stadig flere komponenter i tiden framover. Ledende komponentprodusenter hevder at teknologien vil bli den dominerende pakketeknologien på større komponenter i løpet av en toårsperiode. For en del komponenter er allerede BGA-teknologien den foretrukne konnekteringsmetoden.
- Omfattende pålitelighetsstudier av BGA-teknologien viser at den er god nok for de fleste aktuelle applikasjoner.
- Dagens monteringsutstyr kan med ubetydelige investeringer håndtere BGA-komponenter. Prosess-yield'en for BGA-komponenter er vesentlig bedre enn for tilsvarende QFP-pakker.
- Ledende komponentprodusenter tilbyr i dag et bredt spekter av BGA-komponenter, bl.a. sender Motorola ut en ny komponent i BGA-versjon hver uke. Pakketeknologien er spesielt anvendt i produktområder hvor kravene til miniatyrisering er et kritisk moment, samt for applikasjoner med over 200 I/O-konnekteringer. Utviklingen i tiden framover vil forsterke denne trenden.
- BGA-teknologien er kommet for å bli, og åpenbarer et stort potensiale for konstruksjoner med krav til høy I/O. Teknologien vil anvendes på flere komponentpakker i årene framover.
- I dag er ikke standardkomponenter med BGA-konnektering prismessig konkurransedyktig med andre konnekteringsmetoder. Når teknologien tar av er det ingen ting som tilsier at BGA-pakker vil bli dyrere. Denne trenden er sammenlignbar med prisutviklingen på tidligere komponenttyper som er tatt i bruk.
- Den høyere prosess-yield'en vil være en viktig økonomisk faktor for å ta i bruk BGA-teknologien i årene framover. Teknologien forenkler monteringsprosessen vesentlig i forhold til fine-pitch QFP-komponenter.
- BGA-teknologien er forenelig med standard OFM-utstyr. Det er ikke nødvendig å foreta tilleggsinvesteringer for å gjøre BGA-montasje. Alle typer reflow-utstyr kan benyttes uten at dette påvirker loddeforbindelsen vesentlig.
- Ved valg av BGA-pakke må komponentkvalitet mhp. fuktighet, ko-planaritet, kvalitet av BGA-kuler og korrosjon vurderes for å oppnå best mulig kvalitet.

Andre forhold

Gjennom kunnskap og erfaring på BGA-teknologien er grunnlaget lagt i hver enkelt bedrift for morgendagens pakketeknologi der kompakt elektronikk er stikkordet for miniatyriseringstrenden. Multi-chip-moduler (MCM), flip-chip teknologi og chip-scale-packaging (CSP) er nye teknologier som norsk IT-industri vil måtte forholde seg til og delvis beherske i årene som kommer. For å møte disse nye teknologiene vil god kunnskap og praktisk erfaring med BGA-teknologien være en viktig faktor for å lykkes.

Publikasjoner

J. Nysæther, "*Morgendagens pakkekonsepter sparer plass og kostnader*", Elektronikk 2/96

E. Karlsen, "*BGA-baller på seg*", Elektronikk 3/97