

## [Video Article] Semiconductor hybrid bonding technology emerges – July 4, 2023

[영상]반도체 하이브리드 본딩 기술이 뜬다

<인터뷰 원문>

**진행 : 디일렉 이수환 전문기자, 디일렉 이도윤 편집국장**

**출연 : 디일렉 한주엽 대표**

-이제 마지막 순서입니다. 저희 한주엽 대표 모시고 얘기를 나눠보도록 하겠습니다. 한 대표님 안녕하십니까.

“안녕하십니까.”

-오늘 얘기하실 게 하이브리드 본딩(Hybrid Bonding).

“하이브리드 본딩(Hybrid Bonding)이라고도 불리고 다이렉트 본딩이라고도 불리고, 또 카파to카파(직접 구리-구리 결합) 본딩이라고도 불리는데. 지금 현재도 엄청나게 반도체 패키징 쪽에서는 뜨고 있는 기술입니다. 그래서 저희가 7월. 죄송합니다, 광고용으로 제가 나와서 자꾸 말씀드리는데 7월 26일 디일렉 주최로 ‘반도체 스케일링을 지속시킬 신공법 반도체 하이브리드 본딩 기술 콘퍼런스’를 개최합니다. 그래서 다양한 분들이 나오셔서 발표하실 텐데, 오늘 유튜브에서 간략하게 이게 왜 필요하고 어떤 기업들이 지금 참여를 할지에 대해서 소개를 드리려고 합니다.”

-다이렉트 본딩이라고도 하고 카파to카파(직접 구리-구리 결합). 거기에 많은 내용이 다 들어 있는 것 같아요.

“근데 사실 우리가 패키징이라고 얘기는 하지만 사실상 기존의 OSAT라고 불리는 외주로 소자업체로부터 웨이퍼를 받아서 본딩하는 이런 기술하고는 약간 근본적으로 다릅니다. 전공정 기술들이 많이 가미가 되어야 하기 때문에 OSAT에서는 앰코라든지 칩팩, ASE나 SPIL 쪽에서는 하기가 약간 쉽지 않은 공정인 것 같습니다. 그 전에 제가 개괄적으로 말씀을 드리면 본딩이라는 단어 자체는 영어인데. 뭘 붙인다는 의미잖아요. 그래서 우리가 핸드폰 같은 거 뜯어보면 주기판이 큰 게 초록색 기판이 있고. 그 위에 칩이 박혀 있는데. 이 박혀 있는 칩이 패키징이 된 상태거든요. 이 패키징이 된 상태를 또 뜯어보면 또 패키징 기판이 있고요. 그 위에 웨이퍼에서 잘라낸 칩 다이가 있습니다. 그리고 옛날에는 패키징 자체가 어쨌든 칩 다이를 보호하는 역할인 건데, 이 보호하는 걸 씌워놓고서는 주기판에 끼우려면 전기가 통하게 해야 되잖아요. 전기가 칩 다이하고 패키징 기판 사이에 통해야 되는데, 옛날에는 이걸 와이어 본딩을 많이 했어요. 지금도 물론 와이어 본딩을 많이 해요. 옛날 금선.”

-지네발처럼 생긴 거죠?

“옆으로 이렇게 쪽쪽 빠져 있는 와이어 본딩을 많이 했는데 칩 속도가 좀 빨라지고. 속도가 빨라진다는 건 그만큼 데이터의 입출력이 많아진다는 얘기거든요. 근데 금선이라든지 이런 것들이 너무 얇게 나온다고는 하지만 그건 사실 눈으로 세어볼 수 있는 숫자면 그렇게 많은 건 아니고. 그렇다 보니까 I/O(입출력)를 어떻게 하면 좀 늘릴 수 있을까 해서 생각해서 나온 게 FC-BGA. 우리 예전에 이기종 기자가 맨날 FC-BGA (기사를 썼었는데).”

-맞아요, 기판 뒤에.

“항상 물량이 없고. FC-BGA는 풀어서 써보면 플립칩 볼 그리드 어레이(Flip Chip Ball Grid Array)라는 볼로 돼 있는데 단어 그대로예요. 칩 다이와 패키지 기판 사이에 전기가 통하는 솔더볼을 격자 형태로 배치를 해서 붙인다는 걸로 해서, 플립 칩 볼 그리드 어레이. 솔더볼을 격자 형태로 배치해서 붙인다고 해서. 플립칩 방식이라고 부르기도 하고 이쪽에서는 FC-BGA라고 부르기도 하고 하여튼 동그란 것들을 기판하고 칩 다이하고 붙여서 패키징을 하는 방식인데, 이것도 계속적으로 칩의 속도가 빨라지니까 배선들이 I/O가 늘어나야 되는데 I/O가 늘어나려면 밑에 붙은 동그란 볼들이 작아져야 됩니다.”

-많이 붙여야죠.

“엄청나게 많이 붙이고 있는데 이게 작아지는 데도 한계가 있어요. 간격을 계속 줄여야 되는데 동그란 솔더볼, 하여튼 솔더볼의 간격이 일반적으로 150마이크로미터( $\mu\text{m}$ ) 정도 수준이고 제곱밀리미터( $\text{mm}^2$ ) 당 50개를 배치를 할 수가 있어요. 150마이크로미터( $\mu\text{m}$ ) 피치.”

-그게 이론적인 거죠?

“그렇습니다. 그래서 최대가 그렇다는 거고 그러니까 제곱밀리미터 당 50개를 배치할 수 있는데 속도가 계속 빨라지니까 배치를 더 해야 되는 거예요. 그러면 이제 어떻게 해야 되냐면 카파 필러 범프(Cu Pillar Bump)라고 해서 구리 기둥을 만들어 놓고 그 위에 동그란 걸 만들어 놓으면 그냥 동그란 걸 만들어 놓은 것보다 기둥을 세워서 위에만 동그랴게 만들어 두면 조금 더 오밀조밀하게 만들 수 있습니다. 그래서 그게 피치가 아까 그냥 일반 볼은 150마이크로미터( $\mu\text{m}$ )였는데. 카파 필러 범프를 활용하면 50마이크로미터( $\mu\text{m}$ )까지 할 수 있어서 제곱밀리미터( $\text{mm}^2$ ) 당 400개를 배치를 할 수 있어요. 많이 늘어나는 거죠. 그런데 여기서 더 발전한 건 또 마이크로 카파 필러 범프, 좀 더 마이크로하게 만들어서 최대 제곱밀리미터( $\text{mm}^2$ )당 2500개 I/O. 하여튼 I/O가 엄청 많아지니까 이렇게 갔는데 그럼에도 불구하고 I/O가 모자란다.”

-고속도로를 더 늘릴 수 없다는 거죠.

“지금 문제는 어쨌든 I/O를 어떻게 하면 우리가 더 많이 빠르게 할 것인지 해서 생겨난 것이 카파와 카파(구리와 구리를 그대로 붙인다) 그러니까 웨이퍼 위에다가 칩 다이를 구리 컨택을 만들어 놓고 그대로 붙이는 게 기존에 범프 없이 만드는 게 카파 투 카파, 다이렉트 본딩 혹은 하이브리드 본딩이라고 불리는 기술입니다.”

-그러니까 볼을 뺐다는 거잖아요?

“볼이 없어지고 구리만 이렇게 딱 성장시켜놓고 구리 위에 구리를 칩을 바로 올리는, 동그란 웨이퍼 위에 또 다른 칩 다이를 갖고 와서 탁 올려놓고 이거를 붙이는 게 다이렉트 본딩이고. 이미 올 초에 AMD의 CEO인 리사 수가 들고 라이젠 칩을 손에 들고 발표를 했는데, 이번에 AMD에서 내놓는 제품 중에 3D V-Cache X3D라고 명칭이 붙은 게 SoC(시스템온칩) 밖으로, AMD는 APU라고 부르는데 아무튼 프로세스 밖으로 L3 캐시를 뺐어요. 그 뺐 공간에 다른 로직 설계를 넣어 놓고 집적도를 높이고 L3 캐시는 카파 투 카파 공정으로 칩 위에 그냥 올려버렸어요. 이게 최초로 나온 다이렉트 본딩의 실제 사례이고 공정은 TSMC가 했습니다.”

-저는 하이브리드 본딩 볼 때마다 느끼는 건데. 중간에 갭이 없잖아요.

“없죠.”

-열 문제가 바로 대두될 것 같은데요.

“열이요? 글썄요. 잘 모르겠네요.”

-발열 문제가.

-그럼 붙일 때는 어떻게 붙이는 겁니까?

“붙일 때는 접착제가 필요 없어요. 예전에 이렇게 솔더로 붙일 때는 열로 해서 녹여서 솔더링 한다고 해서 그렇게 붙여요. 그걸 리플로우에 태우든 저희가 얼마 전에 프로텍 얘기했듯이 레이저를 이렇게 붙이든, 아니면 TC 본더라고 열 압착으로 해서 열을 가하면서 누르면서 붙이는 방법들이 있었는데. 카파 투 카파는 제가 아까 서두에 말씀드렸듯이 OSAT가 못한다는 게 전공정에 들어가야 합니다. 전공정에 뭐가 들어가야 되냐면 일단 CMP(평탄화 공정)가 들어가야 돼요. 연마를 일단 한 번 이렇게 구리를 성장시켜서 위에 컨택을 만들어 두면, 한 번 연마를 해서 평탄하게 만들어야 되는 게 있고. 그다음에 아주 정밀하게 이 카파와 또 칩 다이의 카파를 정확하게 맞닿게 올리는 본딩 장비가 있어야 되고요. 올리고 나면 본드로 붙이나 열로 붙이나 이러는데 그런 걸로 붙이는 게 아니고 플라즈마를 활용해야 돼요. 진공 플라즈마 챔버 안에 넣어서 전문적인 얘기인데 공유 결합을 한답니다. 하여튼 물질과 물질을 붙여서.”

-분자랑 분자랑 붙나보죠?

“약간 그런 식이에요. 그래서 별도의 어떤 접착 성분이 있는 재료나 이런 걸 바르지 않고 플라즈마를 활용해서 공유 결합 방식으로 하기 때문에. 일단 CMP는 OSAT에서 써본 적이 없죠. 플라즈마 챔버 진공장비도 OSAT에서 안 써요. 그러니까 이 공정은 TSMC나 삼성전자나 인텔이나 SK하이닉스 같은 종합 반도체 기업 정도가 할 수 있는 패키징 기법이다. 업계에서는 그렇게 보고 있고. 제가 아까 AMD를 말씀드렸지만 TSMC는

CoWoS(칩온웨이퍼온서브스트레이트)라는 기술명으로 이미 이걸 지금 상용화를 하고 있고요. TSMC 공정 라인에 지금 장비가 어떻게 배치돼 있다면 어플라이드머티어리얼즈가 넣었어요. 인라인으로 넣었는데 어플라이드머티어리얼즈가 CMP 잘하거든요. 그리고 플라즈마 챔버하고 네덜란드의 베시라는 기업이 있습니다. 베시라는 기업도 주가가 엄청 근래 들어서 많이 올랐던데. 베시가 하는 역할은 웨이퍼 위에 잘라져 있는 칩 다이를 굉장히 높은 정확도로, 왜냐하면 정확하지 않으면 컨택에 문제가 생기면 제대로 데이터가 오갈 수 없으니까. 굉장히 정확하게 올리는 장비를 붙여서 두 개 라인을, 그러니까 두 세트를 넣었다고 하더라고요.”

-그거는 지금 현재로서는 베시만 할 수 있는 거예요?



“저는 그런 걸로 알고 있습니다. 지금 국내에 본딩을 하는 후공정 업체들이 있는데. 굉장히 하여튼 정확하게 예를 들어서 지금 제가 손바닥을 옆에서 보면 정확해 보이지만 굉장히 미세하게 보면 틀어져 있을 거란 말이죠. 이게 몇 마이크로미터( $\mu\text{m}$ ) 수준으로 정확도가 돼야만 이걸 올릴 수 있기 때문에. 어쨌든 정확하게 올려놓고 플라즈마를 쏘아야 되는 거라서 정확하게 올리지 않으면 이 공정 자체가 안 되는 건데. 현재 상용화된 것은 베시라는 기업 정도만이 상용화를 해놓은 것으로 알고 있고. 인텔도 이 기술은 그들의 기술명으로는 포베로스 다이렉트(Foveros Direct)라는 기술명으로 하고 있고, 삼성은 아직 그런 기술명이나 이런 것들은 없지만 최근에 베시 장비 1대를 샀다고 그래요.”

-그렇죠.

“알고 있습니까?”

-작년 10월에 싱가포르에 지금은 이름이 바뀌어 있는 설비기술연구소에 양장규 부사장이 싱가포르에 있는 어플라이드머티어리얼즈에 갔던 걸로 알고 있습니다. 하이브리드 본딩 때문에.

“그렇군요. 그래서 아무튼 삼성도 들여놨고 SK하이닉스 같은 경우에는 지금 이걸 준비를 하고 있어요. 왜 준비하고 있냐 HBM(High Bandwidth Memory)이 지금 굉장히 이슈잖아요. 엔비디아에 GPU 옆에 HBM이 다 SK하이닉스 것이 붙는데 지금 현재 12단이란 말이죠. 근데 앞으로 로드맵을 보면 16단, 18단, 24단 계속 적층이 계속 올라가거든요. 적층이 계속 높아진다는 것은 두께가 두꺼워진다는 얘기에요. 이 두께를 줄이려면 중간에 카파 필러 범프를 없애야 돼요. 그러면 두께가 확 줄겠죠. 그것 때문에 지금 다이렉트 본딩 혹은 카파 투 카파 본딩 혹은 하이브리드 본딩에 대해서 준비를 하고 있는데. 베시랑 접촉하고 있는 것 같지는 않고, 제가 듣기로는 한화 쪽이랑.”

-한화솔루션?

“정확하게 제가 예전에 삼성테크윈을 한화가 인수했죠? 그러니까 그쪽이 인수한 한화 쪽에서 패키지 장비 쪽을 준비를 한다고 그래서 그쪽에 개발을 맡겨놨다고는 하는데 한화가 잘 될지는 모르겠어요. 아무튼 지금 이 다이렉트 본딩, 하이브리드 본딩은 굉장히 뜨고 있고 TSMC가 굉장히 앞서 나가고 상용 제품을 제일 먼저 내놨으니까. 장비 업체 중에서는 어플라이드머티어리얼즈와 베시가 이렇게 얼라인으로 묶어서 두 세트를 이미 TSMC에 보내놨고. 삼성전자도 준비를 하고 있고, SK하이닉스도 HBM에 붙일 준비를 하고 있고. 삼성은 HBM뿐만 아니라 파운드리에도 쓸 용도로 하고 있겠죠. 얼마 전에 삼성 파운드리 포럼 2023을 했을 때도 패키징에 대해서 우리가 좀 신경 쓰겠다고 자료에 담은 게 좀 눈에 띄던데 그렇게 되고 있습니다. 그래서 우리가 7월 26일날 할 콘퍼런스에는 이게 지금 반도체 차세대 패키징 관련되어서 물밑에서 예타에 대한 준비 상황도 이루어지고 있거든요. 굉장히 큰 규모로 나온다고 그래요. 그러니까 이런 것들에 대해서 우리가 미리 좀 알고 가야 정부에서 예타 추진하고 과제 나올 때도 우리가 관련된 기업이라면 과제비도 받을 수 있을 테고. 알고 준비하고 내부에서도 리서치가 돼야 우리가 저거 갖고 어떤 장비나 공정을 개발해 보겠다고 할 테니까 학계에 계신 분들 산업계 계신 분들은 들어와서 들어보시면 되게 좋을 것 같고. 한국나노기술원이라고 광고에 있는 쪽에서는 이미 하이브리드 본딩 서비스를 위한 R&D를 이미 추진하고 있어요. 인하대 쪽이랑 해서 추진하고 있으니까 이번에 저희 세미나에서 그런 내용들. “왜 하는 겁니까?” 이러니까 왜 하는가에 대한 이유는 공정을 할 데가 지금은 없잖아요.”

-할 데가 없죠.

“그런데 여기서 만들어 놓으면 그런 수요들이 있을 거라고 생각하는 거죠.”

-일종의 서비스를 하겠다.

“그렇죠. 그런 선행적으로 서비스도 하고 개발도 하고 이런다고 하고 있고. 그래서 기업에서는 저희가 지금 여러 기업들이 나오기로 확정이 됐는데. 이번에 또 추가로는 아까 웨이퍼 위에 칩 다이를 올린다고 그랬는데 이미 웨이퍼 위에 웨이퍼를 올리는 웨이퍼 투 웨이퍼 본딩 공정은 EVG라는 오스트리아 회사인가요? 그 회사가 장비를 되게 잘해요. 이미지 센서에도 지금, 이미지 센서 적층 형식으로 가고 있거든요. 그러니까 적층되는 건 웨이퍼 투 웨이퍼에 대한 것도 이번에 나오면 아마 이 회사도 하이브리드 본딩 이쪽도 준비하고 있는 것 같은데 웨이퍼 투 웨이퍼 본딩에 대한 얘기도 들을 수 있고, 다양하게 앞으로 우리가 반도체 공정 분야에서 어떤 기업이 뜰지 어떤 기술이 뜰지 어떤 애플리케이션이 뜰지에 대해서 조망해보는 자리를 만들어 봤으니까 오셔서 들어주셨으면 좋겠습니다.”

-좀 먼 미래이기는 하지만 방금 하이브리드 본딩이 대세 또는 본격화가 되면 삼성이든 인텔이든 TSMC든 하게 되면 국내에서도 패키징 쪽에서 새로운 기회가 있는 거 아니에요?

“일단 본딩 장비하는 회사들이 국내에 있기 때문에 좀 있을 것 같고. 그리고 CMP 장비하는 데도 좀 있을 것 같고요. 근데 이게 워낙 또 어드밴스드한 기술이고 남들이 해본 적이 없는 기술이기 때문에 국내 기업들의 기술들을 대기업들이 많이 차용을 할지는 잘 모르겠는데 그러한 전반적인 어떤 공정의 흐름이나 필요한 기술이나 이런 내용들이 논의가 많이 이루어지다 보면 “이것도 필요한데? 저것도 필요한데?” 얘기들이 계속 오갈 수 있으니까. 그런 곳에서 기회를 찾아보는 게 어떨까 해서 우리가 세미나를 기획한 거니까요.”

-선제적으로 준비를 하는 차원에서도 상당히 의미가 있겠네요.

“맞아요. 거기다가 조금 파생된 변형된 공정들이 또 나올 수도 있기 때문에 그거는 우리가 뭘 잘 알아야 “이거 어떻겠습니까?” 하면서 제안도 하지 모르면서 얘기할 수는 없는 거니까. 논의 안에 들어와야 되고 지금 IMEC이 벨기에에 있는 굉장히 유명한 연구기관이지 않습니까? 거기서 EUV 장비도 갖다 놓고 서비스도 PR(포토레지스트) 만드는 회사는 거기에 다 장비가 있어서 가능한 거긴 한데. IMEC에서 최근에 CMOS 2.0이라는 걸 발표를 했어요. 지금 반도체의 구조 자체가 CMOS 공정인데. CMOS의 공정 스케일링이 한계에 다다랐다. 지금 2나노 얘기하지만 1나노.”

-얼마나 더 같지 모르죠.

“얼마나 같 지에 대해서 모르니까. 거기서 여러 가지 요소 기술로 한 게 전기가 통하는 배선 자체를 웨이퍼 후면으로 공정을 가공해왔고, 인텔은 '파워비아(PowerVia)' 이런 식으로 얘기는 하던데. 후면으로 가는 것들 그리고 게이트의 구조가 핀펫(FinFET), 지금 많이 쓰고 있지만 핀펫에서 게이트올어라운드(GAA)로 가고 GAA 다음으로는 CFET이라는 기술이 또 나오니까 게이트 구조는 CFET으로 가고 전력에 오가는 배치에 대한 통로는 또 후면으로 빼고. 그러고 나서 하이브리드 본딩을 또 붙이고 이러면서 “이제 CMOS 2.0 시대가 온다” 이런 식으로 이제 발표를 하고 다니니까.”

-완전 이종기술의 집합체인데요.

“지금 계속 그런 식으로 붙이면서 하여튼 과거에 칩 다이 하나의 설계 블록을 짜서 하나는 CPU, GPU, 메모리 이런 걸 칩 하나에 다 구현하는 게 지금까지 트렌드였다면 이제는 거기서 더

좁히기가 어려우니까 만들어 놓고 밖으로 빼서 붙이거나 칩렛으로 하거나 이런 식으로 가는 것들이거든요. 그러니까 그런 걸 전반적으로 해서 CMOS 2.0의 시대가 열리고 있다고 얘기를 하는데. 저희는 그중에서도 가장 중요한 하이브리드 본딩에 대해서 하여튼 논의해보는 자리를 가졌습니다. 제가 광고를 너무 길게 했네요.”

-정말 트렌드를 잘 설명해 주셔서 이해가 굉장히 많이 됐습니다.

“그런데 거기서는 하이브리드 본딩 시대에서도 또 레이저라든지 이런 것들이 여전히 어드밴스드 패키징의 시장은 살아 있을 것이기 때문에 프로텍이라는 회사도 저희가 예전에 레이저 LAB(Laser Assisted Bonding)로 솔더링을 레이저로 한다는 이 기술에 대해서도 또 나와서 발표도 하는 세션도 마련돼 있으니까 다양한 기술을 들을 거리가 있는데. 저희가 항상 이 세미나 준비하다 보면 너무 뻑뻑하게 발표를 잡아놔서 회사에서 오시는 분들은 좀 피곤해하세요. 아침 일찍부터 와서 세션을 10개씩 이렇게 하면 끝날 때 되면 6시 다 돼 가고, 다음 날 회사 가서 보고서도 쓰고 해야 되는데 아무튼 저희는 어쨌든 아젠다를 짝짝 채워놨습니다. 와서 좀 들어주시면 좋겠습니다.”

-언제라고요?

“7월 26일입니다. 7월 26일 수요일 하는 것으로 돼 있습니다. 나중에 아마 녹화 방송 풀릴 때쯤 되면 저희가 안내 사이트도 풀어놓고 할 겁니다.”

-더 하실 얘기 없으시죠?

“또 궁금한 거 없습니까?”

-없습니다.

-어느덧 방송 시간이 70분이 넘었습니다. 마무리 멘트 해 주시죠.

-오늘 디일렉 라이브 이것으로 마치겠습니다. 다음 주에 찾아뵙도록 하겠습니다. 감사합니다.

<https://www.thelec.kr/news/articleView.html?idxno=21878>