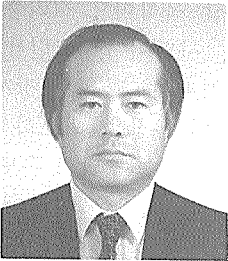


# 하이브리드 마이크로 전자공학의 새 진보



차 균 현  
高麗大 電子電算工學科 教授

현대 하이브리드 회로에서 HMICS와 전력 하이브리드는 매우 흥미로운 분야이다. 하이브리드 물질과 포장(packaging) 기술의 최근 발전으로 많은 복잡한 전자 시스템에서 하이브리드 기술이 매우 중요한 인자가 되었다. 따라서 더이상 하이브리드는 전부한 기술이 아니다

## 1. 개 요

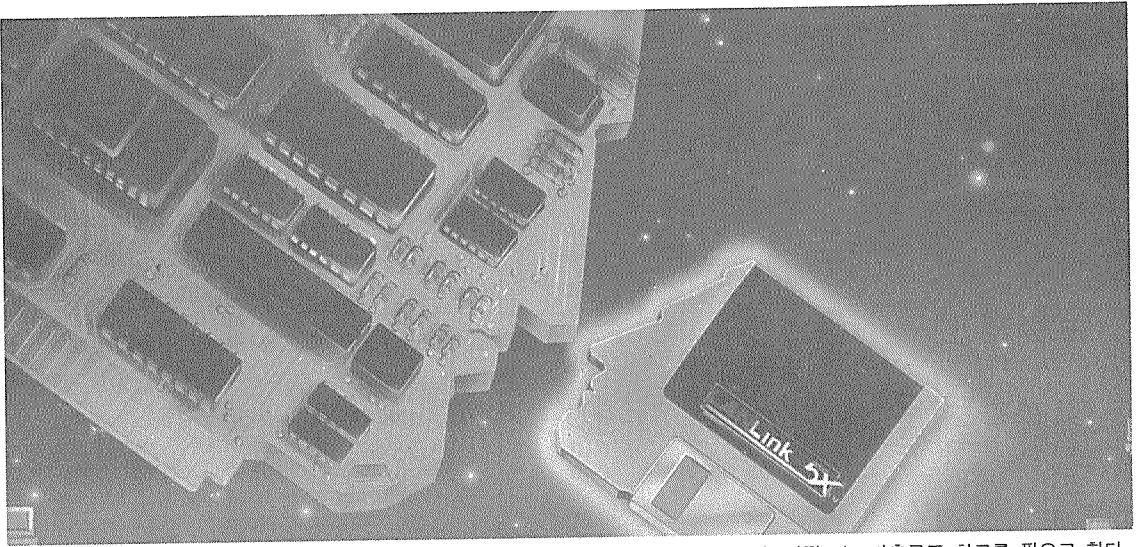
하이브리드 기술은 자동차, 가정용 제품의 자동화, VHSIC프로그램의 포장(Packaging) 구조화 등 많은 새로운 수요의 증대로 계속 발전해 나아가고 있다.

이 기술은 회로들의 적절한 상호관계에 대해서 신뢰성이 우수하고 가격면에서도 효율적이다. 하이브리드 기술은 소형 경량 고주파성능 신뢰성, 조정성 양호한 열성질 칩이나 Packaging형태로 다른 소자 및 장치와 광범위한 양립성 등이 증명된 장점이라 할 수 있는데, 현대 전자공학에서 가장 곤란을 겪고있는 집적화 문제에 있어서 해결책을 제시해 주고 있기 때문에 최근 각광을 받고있는 분야이다. 특히 대규모 집적회로에 있어서는 내부구조가 복잡한 시스템의 내부연결이 문제인데 하이브리드 기술은 다층구조를 적용함으로써 이런 문제를 해결해 주고 있다. 따라서 하이브리드 기술은 매우 신속하게 발전하고 있다.

하이브리드 기술의 발전과정은 회로 설계, 지형 설계, 패키징 설계, 모델 설정 및 수정 등 몇 가지로 나눌 수 있다. 하이브리드 공정 중 가장 중요한 박막과 후막기술은 다양한 응용에 적용할 수 있다는 것이 증명되었고 특히 그런 기술을 뒷바침 할 수 있는 공정에 필요한 물질이 이미 많이 개발되었다.

### 가. 박막 물질

하이브리드 기술에서 박막은 저항 커패시터 인덕터 및 도체 등을 만드는데 사용한다. 그리고 응용분야에 따라서 저항률, 유전상수, 온도 의존성, 안정성, 파괴전압, 전기적인 잡음, 전력 밀도, 다른 도포기술과의 호환성 등 다른 파라메타들과의 관계를 고려해서 원하는 특정물질이 선택될 수 있다. 물론 그 물질은 기판위의



집적화에 따른 전자회로의 복잡성과 높은 집적도는 다층구조 회로를 필요로 한다.

다른 물질을 고려해서 선택되어야 하고 현재 사용가능한 도포기술에 적용할 수 있어야 한다.

일반적으로 저항을 만들기 위해서 사용되는 박막물질은 탄탈륨 니트라이드, 탄탈륨 옥시니트라이드, 니켈-크로뮴, 크로뮴 실리콘 모노옥사이드 그리고 크로뮴-코발트 등이 주로 사용되고 그 물질들은 보통 제곱 면적당 20-2000오옴과 10% 정도의 오차를 가진다. 그리고 저항값은 레이저를 사용한 선별적 증발 방법으로 0.1%까지 오차를 줄일 수 있다.

박막 커패시터를 만들기 위해서 사용되는 유전물질은 보통 실리콘 모노옥사이드, 탄탈륨 옥사이드, 망간-옥사이드 등이 사용되고 유전상수는 3-200 정도의 범위에 있다. 그리고 커패시터 전극은 알루미늄, 금, 구리, 탄탈륨 등이 사용되고 있다. 일반적인 커패시터 특성은 단위 면적당 커패시턴스, 온도상수, 유전상수, 파괴전압, 손실인자, 누설전류 등으로 나타낼 수 있다. 좋은 특성을 가진 박막은 온도상수, 손실인자, 누설전류 등이 작아야하고 단위 면적당 커패시턴스는 커야한다.

좋은 박막 금속화는 높은 전도율과 다른 도포막이나 기판물질에 부착성이 좋아야하고 공정상에서 다른 물질과 호환성이 이루어질 수 있어야 한다. 불행히도 높은 전도특성을 가지는 물질은 기판과의 부착성이 우수하지 못하다.

보통 사용되는 해결책은 높은 부착성을 위해 티타늄, 크로뮴, 니크롬층이 사용되고 또한 전도성을 개선하기 위해서 구리, 금, 알루미늄, 팔라듐, 팔라듐-금으로 씌운다. 박막의 기판에 사용되는 물질은 알루미늄-옥사이드 격리층을 가진 유리, 세라믹, 수정, 사파이어, 베릴륨 등이 주로 사용되고 있다. 기판에 막을 성장시키거나 도포시킬 때 기계적인 흠집을 최소화시키기 위해서 기판의 온도 확장계수는 막의 온도 확장계수와 거의 같아야 된다. 기판은 여러 공정을 견디기 위해서 높은 기계적 강도와 온도 충격 저항을 가지고 있어야 한다. 또한 높은 열 전도도가 열을 제거하기 위해서 필요하다. 기판물질은 공정에서 사용되는 화학물질과 반응을 하여 기판을 오염시키는 일이 없도록 반응성이 없어야 한다.

#### 나. 후막 물질

후막 공정은 발달된 기술이지만 새로운 도체성 잉크와 기판물질이 다층구조 회로의 수요를 만족시키기 위해서 계속 개발되었다. 다층구조는 작은 유전상수를 갖는 유전물질의 층에 의하여 분리된 금속의 몇몇 층으로 구성된다. 회로 패턴을 형성할 도체성 잉크와 페이스트는 은, 팔라듐 은, 금, 팔라듐 금, 플라티늄 금 등으로 만들어진다.

잘 사용되고 있지는 않지만 높은 열전도체인 구리금속은 기판물질인 알루미늄에 좋은 부착성을 갖는다. 또한 구리는 안전성이 좋고 마이크로파 특성이 좋다. 구리의 주요 단점은 산화성이 강해서 기판위에 저항과 유전물질에 대해서 제한된 유용성을 지닌다. 절연 화합물에서 보편적으로 사용되는 능동물질은 바륨티타네이트와 납 지르코네이트 티타네이트 파우더이다. 바륨 티타네이트 물질로 만든 커패시터는 2,500 정도의 유전상수값을 가질 수 있다.

이들 물질들은 매우 넓은 범위의 유전상수 값을 가지고 있기 때문에 설계자들은 다양한 종류의 후막 커패시터, 크로스 오버, 다층구조에서의 절연체, 성형막 등을 제작할 수 있다. 세라믹과 금속의 합금물인 세미트와 수지산염은 후막 저항의 기본 물질이다. 그것은 제곱 면적당 수 오옴에서 500M오옴 정도의 스위트(sheet) 저항 값을 갖는다.

후막 하이브리드에 사용되는 보편적인 기판은 96%알루미늄이다. 99.5%알루미늄으로 구성된 기판은 고주파수 응용과 미세선의 인쇄에 필요한 표면 매끄러움을 갖추고 있다. 베릴리아와 알루미늄 나이트라이드는 고전력과 고주파수 응용에 중요한 기판 물질로 부각되었다. 이들 기판물질들은 높은 열전도성을 가지고 있고 금속의 열적계수와 비슷하며 증착되는 물질에 좋은 부착력을 가진다. 또한 높은 전기적 저항을 가지고 있다.

#### 다. 박막설계와 공정

박막회로는 50A와 20,000A 두께 사이의 막으로 구성된다. 이러한 막은 적은 압력에서 기화, 스퍼터링(sputtering) 등의 분자 증착기술로 형성된다. 이러한 막은 알루미늄, 베릴리아, 유리와 같은 절연 기판위에 형성된다. 그리고 원하는 패턴은 광인쇄기술을 이용하여 선택적으로 에칭된다. 막을 증착하는 또 다른 방법은 스퍼터링(즉 물리적 기화 증착의 냉각공정)이다.

스퍼터링 챔버(chamber)에서 매우 높은 진공상태를 유지하면서 아르곤과 같은 불활성 기

체에서 에너지를 가진 양 이온을 부딪치게 함으로써 원자나 분자가 표적(target)의 표면에서 제거된다. 스퍼터링 챔버는 불활성 기체를 지니고 원하는 스퍼터링 압력을 유지해야 한다. 높은 전위차가 표적과 정확하게 위치된 기판 사이에 유지되어야 한다. 원자들이 기판 표면에 증착됨으로써 원하는 막을 형성하게 된다. 복잡한 화합물은 기본 스퍼터링 시스템 방법에서 형성될 수 있다.

금속 증착은 직류 스퍼터링이 필요하고 절연체는 리액티브 직류 스퍼터링이 필요하다. 이 기술에서 산소나 질소와 같은 리액티브 가스 소량이 불활성 대기에서 혼합된다. 리액티브 스퍼터링은 지정된 시간동안 어닐링(annealing)해야하는 산화막을 발생시킨다. 다른 변화 방법은 양극과 음극사이에 라디오 주파수 장을 인가시키거나 가스방전을 크게하기 위해서 자장을 이용한다. 박막 증착에 가장 널리 사용되는 증착방법은 진공 증착이다. 여기서 고체나 기체 물질은 고진공하에서 열을 가하여 증착시키고 원하는 막을 얻기위해서 기판을 냉각시켜서 응축시킨다. 증착된 층의 두께는 증착시간에 관련된다. 50um정도의 단일층 박막을 형성할 수 있다. 증착공정에서 요구되는 진공은  $10^{-5}$ 에서  $10^{-7}$  torr정도이다. 금, 구리, 크롬, 니켈 크롬 합금, 알루미늄과 같은 금속의 박막증착은 수직의 진공 증착으로 수행한다. 이러한 금속들은 저온에서 비교적 높은 기체압을 지니므로 이것의 증착온도는 금속의 용융점보다 낮다. 고온의 용융점을 가지거나 정상증착동안 분해되는 물질에 대해서는 특별한 증착이 필요하다.

박막 응용에 사용되는 많은 금속, 반도체, 절연체는 쉽게 도달되는 온도에서 적절한 증착률을 지닌다. 또다른 방법으로는 양극산화로서 이것은 정확하게 저항값을 조절하거나 박막저항을 보호하거나 박막커패시터에 사용되는 절연 물질을 형성하는데 사용된다.

#### 라. 후막 설계와 공정

후막 기술은 저항, 커패시터, 인덕터, 또는 완전한 기능적 회로와 같은 개개의 소자들을 제

조할 수 있다. 다른 수동 소자와 반도체 소자를 부가하여서 하이브리드 후막 회로를 구성할 수 있다. 이러한 여러 수동소자는 절연성 기판 위에 형성된 패턴을 구하기 위해서 페이스트 형태로 기판 물질 위에 인쇄되어 진다. 이들 페이스트는 850도의 고온에서 필요한 막을 형성하기 위해서 소성된다. 일반적으로 사용되는 후막의 두께는 0.3~2mils 정도이다. 이러한 후막 페이스트는 금속과 산화 금속, 유전 물질 또는 페로 마그네틱물질로 구성되어 있다.

이러한 페이스트는 밀도와 점성이 다르다. 페이스트는 "frits"라고 하는 파인 유리 파우더와 휘발성 솔벤트를 포함한다. 낮은 용융점을 지니는 유리는 콘택에서 능동 입자(particle)가 되고 소성 과정에서 기판에 부착력을 강화시킨다. 유기 매체는 소성 이전에 산과 유리 분자를 지연시키고 스크린 인쇄 과정 동안 적절한 유동액을 제공한다.

페이스트나 잉크는 알루미늄 프레임에 걸쳐진 스테인레스 스틸 그물을 통하여 스크린된다. 스크린 면적은 형판으로 마스크된다. 마스크에 의하여 정의된 패턴에 페이스트 복합물이 증착된다.

그 결과 인쇄는 10~20분 동안 청결한 분위기에서 공기 건조된다. 이시간 동안 막은 그물에서의 임의의 자국을 제거하게 된다.

인쇄 휘발성 솔벤트를 건조하기 위해서 10~20분 동안 125도에서 150도로 건조하거나 굽게 된다. 건조 과정이 끝나면 잉크는 세가지 공정에서 소성된다. 전열 과정(약 350도)에서는 막을 오염시키지 않고 완전히 유기 매체를 소성한다. 그 다음 소성 기간인 피크 페이즈(peak phase) 동안 유리 프리트(frit)은 녹고 기판과 반응해서 막에 응고층이 형성된다. 뿐만 아니라 모든 금속 분자도 소결(sinter)된다. 피크 소성 동안 막이 성장된다. 마지막으로 냉각 기간 동안 유리를 굳히고 기판에 응고력을 촉진시키고 입자들을 결속시킨 후 기판을 실내 온도에 둔다. 구리와 같은 금속은 질산 가스내에서 소성될 때 표면 산화를 최소화하는 것이 매우 중요하다. 모든 물질에 대해서 냉각률은 정확히 조절되어

야 한다.

후막 저항-커패시터 연결(network)에 대한 일반 제조 공정을 살펴 보자. 높은 유전 상수 물질을 만드는 과정은 하단의 전극과 상호 연결을 인쇄, 건조, 소성하는 것이다. 그러면 첫번째 층이 스크린 인쇄, 건조, 소성된다. 두번째 절연 층은 핀홀 형성을 제거하고 손실 요소를 줄인다. 이 층이 건조되고 소성된 후에 상단 전극이 인쇄, 건조, 소성된다. 각각의 지정된 쉬트 저항률을 지니는 적절한 저항 페이스트를 응용해서 저항을 제작한다. 최대 3개의 저항 페이스트가 각 기판에서 허용된다. 각 저항층은 인쇄 후에 분리하여 건조된다. 그리고 이 소자는 트리밍(trimming) 공정을 거친다.

### 마. 박막과 후막의 비교

박막 공정은 고밀도, 단극 하이브리드 제작에 적합하다. 왜냐하면 이것은 1mil 공간과 1mil의 연결 선 폭을 지니기 때문이다. 1mil 정도의 미세한 선폭이 가능하기 때문에 전송선이 요구되는 상호 연결인 마이크로파 응용에 적합하다. 박막 저항은 낮은 온도 계수, 우수한 트랙킹, 낮은 잡음 레벨, 환경 변화에 대하여도 우수한 안정도를 지닌다. 반면에 박막 저항은 후막 저항에 비교하여 볼 때 매우 제한된 범위의 값을 가지고 최대 전력 소모는 적다.

후막 공정은 박막 공정보다 훨씬 큰 커패시턴스를 구현할 수 있다. 후막 공정은 고밀도, 이중 세라믹 기판, 다층구조와 같은 복잡한 회로에 사용된다. 재료와 공정의 발전으로 후막은 수 GHz의 고주파수 범위에서 폭 넓게 응용되고 있다.

## 2. 최근 경향

집적화에 따른 전자회로의 복잡성과 높은 집적도는 다층구조 회로를 필요로 하게 되었다. 이런 다층 구조로 구성된 박막 하이브리드 공정은 상대적으로 복잡하고 정밀해야 된다. 층이 여러개로 분리되어야 하기 때문에 그 공정은 비용과 시간이 많이 들고 또한 수율이 떨어지게 되고

특히 층의 격리 물질로 사용되는 유전층의 도포가 어렵다. 게다가 층이 쌓일수록 표면은 점점 고르지 않게되어 맨 위층에 저항을 구성할 때 정교한 저항값을 가진 저항을 구성하기가 어렵다. 최근에 이런 문제점을 해결할 수 있는 몇가지 다층 세라믹 구조가 Du Pont에 의해 소개되었다.

이 다층구조에서는 매물층에 소자나 내부연결을 할 수 있도록 저온 소성과정을 거친 세라믹으로 구성되었다.

몇개의 층이 완전한 회로를 형성하기 위해서 구성되어지고 각각의 층들은 다른 두께와 다른 유전상수를 가지고 구성될 수 있으며 균일한 박막을 얻을 수 있도록 고온의 열처리가 필요하다.

성형된 막은 소성 처리하기 전에는 일반적으로 4mils 두께를 가지고 있고 이렇게 몇 개로 구성된 전체 막의 두께는 일반적인 알루미늄 기판의 두께와 비슷하게 된다. 성형막의 온도 특성은 알루미늄 보다는 좋지는 않지만 상대적으로 성형막에 소자를 부착시키기가 쉽고 또한 고전압에 견디는 안정성이 커서 기존에 다루기 힘든 전력 하이브리드 회로에 응용할 수가 있다.

다른 응용으로는 높은 유전 상수를 가지는 성형 세라믹층을 만들 수 있기 때문에 우수한 커패시터를 구성할 수 있다. 아직까지는 상용화되고 있지는 않지만 곧 다층구조내에 주파수 특성이 뛰어난 커패시터를 만들 것이다.

### 가. 전력 하이브리드

지난 30년 동안 계속 실리콘 집적 회로는 크기가 작아지고 정보 시스템의 처리속도가 증가하였다. 그에 따라서 단위 체적당 더많은 전력을 낼 수 있는 전원 공급이 필요하게 되었다. 이러한 수요를 만족하기 위해서 설계자는 수 MHz에서 동작하는 스위치 회로 모드를 이용하게 되었다. 이 회로를 이용함으로써 마그네틱 성분의 크기를 줄이고 급냉이나 액체 냉각을 사용하지 않고 25W/in<sup>3</sup> 이상의 전력 밀도를 낼 수 있다.

예를 들어서 영-전류 스위치, quasi-공진 변환기는 후막 공정과 표면실장 패키지를 이용하

여서 300Vdc off-line에 응용하기 위해서 설계되었다.

2MHz의 변환주파수는 약 80%의 효율과 35 W/in<sup>3</sup>의 전력밀도를 가지고 100W를 변환기가 낼 수 있도록 하였다. 이러한 설계에서도 문제점은 있다. 주파수가 2MHz라 하더라도 마그네틱은 크기가 크고 전체 회로 크기에서 많은 부분을 차지하게 된다. 차단 인쇄 트랜스 포머는 크기가 매우 작고 주파수특성도 대략 10MHz레벨까지 동작을 할 수 있다.

표면 효과 역시 2MHz에서 문제를 야기시킬 수 있다. 왜냐하면 보통 0.4-mil 두께의 스크린 전도체는 전류 Crowding으로 인하여 저항의 증가가 발생하게 된다. 이런 문제점은 후막 페이스트로 만든 선을 사용하여 최소화시킨다. 설계자가 주의해야 하는 또 다른 문제는 소자나 기판에서 발생하는 열이다. 설계자는 열의 발생을 최소로 하기 위해서 적당한 기판 물질을 선택해야 하고 많은 전자부품들이 회로상에서 적절한 위치에 선정되어야 한다. 특히 전도체의 폭, 두께, 공간 그리고 고전력 소자 등의 세심한 위치 선정과 이들의 레이아웃(layout) 등은 열의 발생을 최소로 하는데 매우 중요한 사항이다. 또 설계자는 기계 기술자와 재료 기술자와도 상의를 해야 한다. 종종 CAD 시뮬레이터를 사용하여서 기판물질이나 소자를 만드는데 사용될 물질 또는 이들을 싸고있는 패키지 물질 등을 고려해서 전력 하이브리드의 전기적, 열적 특성을 모델화하여 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션에서 그 결과를 살펴볼 필요가 있다. 물론 이 분야는 전자 또는 전기 기술자들의 종전 분야와는 다르다. 따라서 대규모 집적화와 전력 밀도가 증가함에 따라서 여러 방면의 설계 접근 방식이 필요하게 된다.

### 나. HMICS

하이브리드 마이크로파 집적회로(HMIC)는 박막나 후막기술을 사용해서 구성된 내부연결과 수동소자를 전기적으로 절연된 기판위에 올려놓은 것으로 이것은 여러 능동 마이크로파 소자와 연결된다. 주로 사용되는 기판으로서는

알루미늄, 베릴륨, 알루미늄니트라이드 등이다.

수동소자는 집적형태 또는 분산형태이거나 두 개의 조합이다. 부수적으로 수동소자는 땀납(solde)이나 에폭시(epoxy) 본딩으로 연결된다. 능동소자는 칩내에 설계하거나 본딩을 해서 다른 소자들과 연결된다. Hmics는 마이크로파 모노리틱 집적회로보다 더 많은 장점을 가지고 있다. 모노리틱(MMICS) 기술에서는 모든 능동 및 수동소자와 이들의 상호연결이 반절연물질인 GaAs 기판위에 형성된다.

MMIC기술은 정확한 회로 튜닝이 어렵고 전력 레벨이 낮으며 근접한 소자들 사이의 커플링(coupling)으로 인해 집적화 하기가 어려운 점이 많다.

반면에 HMIC기술은 다음과 같은 특성이 있다.

- 탁월한 고주파수 능력
- 우수한 마이크로파 소자 적용
- 정확한 전기적 능력

HMIC는 기판에 회로 패턴이나 내부연결을 하기위한 금속화를 하기전에 MMIC보다는 비교적 테스트가 용이하다. 또한 더 높은 전력을 공급할 수 있다. 왜냐하면 HMICS에서 사용되는 절연 물질은 높은 열전도성을 지니고 있기 때문이다.

- 세라믹 물질에 여러 MMIC칩이나 모듈을 집적화 할 수 있다.
- 기판 표면의 성질이 HMIC 성능에 영향을

준다.

여러 전기적 소자가 형성되기 위해서 증착된 막위에 패턴이 정의되어야 하며 기판 표면은 최소 선폭과 공간에 영향을 준다. 선폭은 보통 2~5mils 정도로 여러 다른 요소에 의하여 영향을 받는다.

45도나 22.5도의 각을 지니고 교차되는 선이 사용될 수 있으며 이들을 도포하기 위해 미세 차폐 도포 방식(fine screen)이 적용되고 이는 우수한 결과를 가져온다. 이런 미세 차폐 도포 방식은 기판 상에서 여러 형태의 전송선을 만들 수 있고 이들 전송선은 고주파수 응용에서 소자 사이의 주요 통신 링크가 된다.

마이크로파 응용에서 기판의 절연 특성은 매우 중요하다. 절연성, 마그네틱, 도체성, 저항성 물질 뿐만 아니라 기판의 뛰어난 대역 특성이 고주파수 응용에 범위에 상당한 영향을 미친다.

현대 하이브리드 회로에서 HMICS와 전력 하이브리드는 매우 흥미로운 분야이다. 하이브리드 물질과 포장(packaging) 기술의 최근 발전으로 많은 복잡한 전자 시스템에서 하이브리드 기술이 매우 중요한 인자가 되었다.

따라서 하이브리드 기술은 전자공학이나 재료공학 뿐만 아니라 기계공학 등 여러 분야에 능숙한 기술자들을 필요로 하게되었고 더이상 하이브리드는 전부한 기술이 아니다.

### 略 語 表

HDTV : High Definition TV  
 IAP : Interface for Application Portability  
 IC : integrated circuit  
 ID : identification  
 IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.  
 ISA : Industry Standard Architecture  
 ISDN : Integrated Services Digital Network

ISO : International Organization for Standardization  
 LAN : local area network  
 LSI : large scale intergrated circuit  
 MCA : Micro Channel Architecture  
 MIFF : Multimedia Interchange File Format  
 MIPS : million instructions per second  
 MMU : memory management unit