

바이오반도체 기술 현황과 전망

김상호 (경원대학교)

I. 서론

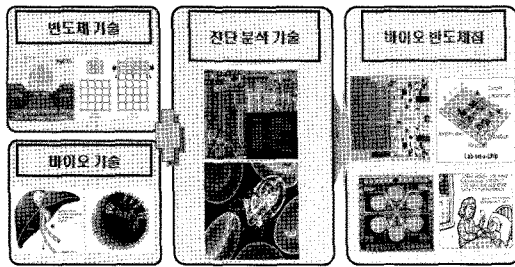
최근 많은 기술 분야가 융합되어 새로운 분야와 시장이 창출되고 있다. 특히, 바이오 분야 기술이 빠르게 발전하고 있어 향후 바이오 반도체 시장이 급속히 성장할 것으로 예측되고 있다. 사회가 고령화되어 가고, 건강에 대한 관심이 고조되는 가운데 웰빙문화 확산으로 인한 의료서비스의 관심이 증대되고 있다. 예를 들어, 유행성 질병의 현장 진단과 개인 유전자에 따른 맞춤형 원격 의료진단 및 치료 서비스의 수요가 급속히 증가할 전망이다. 향후 이러한 거대한 잠재 시장을 선점하고 준비하기 위해서는 생명공학 및 의학분야를 화학공학, 재료공학, 기계공학, 전자공학 등 관련된 많은 분야를 적절히 연결, 융합하고 새로운 도전을 받아들일 수 있는 자세와 준비가 필요하다.

II. 새로운 도전

현재 대부분의 반도체칩 생산은 실리콘 웨이퍼로부터 크기가 최소화되어 적용되는 많은 최

신기술과 고가 장비에 의존하고 있다. 이러한 칩들의 용도는 다양한데, 용도에 따라 각각의 제품 및 장비의 수명이 달라지기도 한다. 오래된 반도체공정 및 제조장비의 수명을 최대의 효율적으로 이용하는 방법은 여러 가지가 있으나, 필요한 분야에 알맞게 활용되게 하는 것이 최대한 효율적이다.

새로운 실리콘공정 기술이 개발될수록 오래된 기술과 공정은 이윤이 적게 나는 분야와 꼭 필요한 분야에만 적용이 되고 있다. 이러한 문제점들은 규모의 경제 형태를 통하여 극복될 수 있다. 즉, 저급의 반도체 기술력과 노동력이 경제적으로 잘 맞아 떨어질 수 있으면 가능하다. 그러나 최근 이러한 규모의 경제 형태의 급변화로 인해 그마저도 별로 소용이 없게 되었다. 이는 인구감소라는 현상의 인구 통계학 등을 통해 미국과 유럽 등을 보면 알 수 있다. 또한 반도체 붐 현상으로 인하여 한국을 비롯한 아시아에서는 기술 과잉 현상만 더해지고 있을 뿐이다. 이와 같은 현상을 해결하기 위하여 이러한 저급의 반도체 기술력들을 어떻게 사용하면 될 것인가에 대한 도전이 생기게 된다. 약학 및 생명공학의 혁신적 기술력 등이 반도체 제조업에 새로운 거대 시장과 더



〈그림 1〉 바이오반도체칩의 개념도

붙어 많은 이윤을 남길 수 있게 할 수 있을지에 도전이 생겨나고 있다.

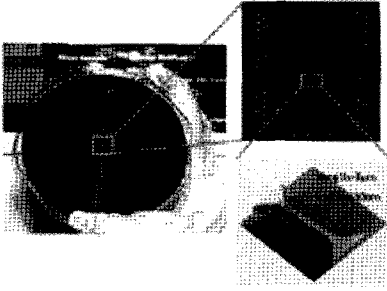
시장의 급속한 증가와 최상급 반도체 기술을 응용하는데 있어 반도체 기술과 바이오 기술의 융합은 절대적으로 필요하다. 반도체 기술이 아직까지는 아주 미미한 분야에만 적용되고 있지만, 현재 예측되고 있는 전체 시장의 가능성은 매우 크다. 미국에선 약학 분야에서만 매년 약 300억 달러를 연구 사업 분야에 투자하고 있고 체외 진단 시장에는 매년 100억 달러가 투자되고 있다. 이렇게 잠재력이 큰 분야에 반도체 기술은 가장 많이 이용될 기술 중 하나로 판단되며, 반도체 시장에 있어서 그 잠재력이 어마어마하다고 보고 있다. 바이오 시장에 성공할 수 있고, R&D 개발 사업에 즉각 투입되어 새로운 기술을 만들어 내는데 도움이 될 많은 제품들이 나올 가능성이 매우 크다고 보고 있다. 즉, 오래되고 감가상각이 끝난 반도체 제조 설비의 폐쇄나 유희 개념에서 벗어나 적극적인 새로운 시장의 도전이 필요한 시점인 것이다.

그렇지만, 새로운 도전에 앞서, 몇 가지 주의할 점들이 있다. 현재 바이오 분야의 최신 기술보다 우위를 두고 있는 기술들이 무엇인지 확인하는 것이 매우 중요하다. 또한 바이오반도체칩에 사용되는 실리콘은 그 자체가 제품이 아니며, 생명공학에 대해선 아직도 우리가 모르는 부분이

너무나도 많다는 것이다. 그럼에도 불구하고 실리콘 기술과 바이오 기술이 이루고자 하는 길은 서로 유사성이 있으며 아직도 진행 중이다.

예를 들어, 의학과 바이오 기술의 잠재된 시장의 규모는 크게 두가지 형태로 보여지고 있다. 첫째는 고수의 소규모 시장으로 고성능 장비들을 이용하여 유전체학(Genomics)과 단백질체학(Proteomics) 등을 의약학 발전에 병행하며 분석할 수 있는 연구 및 제조 시장이다. 이미 실리콘 종류의 바이오칩들이 시장에 존재하고 있으며 1회용의 바이오칩 종류들은 하나당 \$200부터 \$1200까지 다양하고 이들은 약 50만 정도가 매년 소비되고 있다. 다른 하나는 저수의 대규모 시장으로, 체외 실험 진단을 진행하는 시장에서는 단가가 매우 낮고 기준치에 정확하게 제조되어 바이오, 즉, 건강이나 환경을 모니터링 하는데 많이 쓰인다. 이는 막대한 이윤을 많은 기업들에 안겨줄 수 있는 잠재력을 지니고 있다. 그렇지만 식약청 등 관련 정부기관에 제품이 승인 받고 상용화되기까지는 매우 긴 시간을 필요로 할 수 있고 매우 낮은 가격으로 제조가 지속되어야 하기 때문에 많은 위험이 따르기도 한다. 현재 시장에서는 약 \$5에서 \$10 범위 내에서 많은 제품들이 상용화 되고 있다.

이러한 두가지 형태의 시장에서 모두 성공하려면 바이오반도체 기술의 실제적인 응용이 절실히 필요하다. 현재 바이오관련 기술은 자동화 및 정확하게 측정할 수 있는 장비, 가격이 매우 싼 플라스틱, 유리 등으로 유리한 시장을 점유하고 있다. 하지만 반도체 기술과 마이크로 전자공학 기술들은 현재 바이오 기술로 이룰 수 없는 것들을 가능하게 해줄 수 있다. 기존 방법 및 유리나 플라스틱류의 재료로는 불가능했던 반도체 기술을 이용하여 바이오반도체칩 내에서 실시간



〈그림 2〉 8인치 SOI 웨이퍼상에 구현된 바이오반도체칩 (ETRI)

모니터링, 신호처리/분석, 유무선 전송을 가능하게 해줄 수 있는 것이다.

바이오반도체 기술을 적용하기에는 여전히 큰 문제들이 몇 가지 남아 있지만 전 세계에서 많은 연구가 진행되고 있고 바이오반도체칩 기술이 민감도와 재현성이 뛰어난 장치를 만들기 위해서 도전하고 있다. 현재 시장에 존재하는 제품들과 확연하게 차별성이 들어나고, 다양한 분야에 응용이 가능한 플랫폼 기술을 개발하는 것은 성공의 지름길 중 하나일 것이고, 여러 응용분야가 아닌 하나의 분야에만 집중하여 개발하는 것 또한 성공의 길일 수 있으며 미래 반도체산업 신성장동력의 시발점이 될 수 있다.

III. 바이오반도체의 현황과 미래

기본적인 인간 생활이 되는 건강과 환경에 대한 다양한 서비스가 출현하게 되고, 최근 반도체 기술을 기반으로 한 바이오 융합기술이 새로운 산업기술 분야의 하나로 발전하고 있다. 이러한 바이오반도체 기술은 세포, 단백질, 유전체 등 미세한 생명체와 생명현상을 탐구하기 위한 바이오기술과 많은 양의 정보를 신속하게 처리하고

분석하고 표현하기 위한 정보기술 상호 융합된 복합기술을 의미한다. 이러한 바이오반도체 기술 분야에서 극미세 물질과 부품을 다룰 수 있는 제품을 개발하기 위하여, 지금까지 전자부품의 경박단소화를 이룬 반도체 기술을 이용하게 되었다. 이에 반도체 기술은 바이오 응용 기술에 의한 새로운 제품 창출과 바이오산업에서의 신제품 및 새로운 시장을 개척을 통해 다양한 양상으로 발전하고 있다. 이와 관련하여 차세대 성장 동력으로서의 바이오 융합 기술에 대해 준비를 하여야 한다.

1. 바이오반도체의 현황

바이오반도체 분야의 현황을 간단히 요약하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 현재 System LSI에 신성장동력원으로 찾고 있는 반도체 회사의 CMOS 기술 기반으로 전세계에 몇몇 회사만이 연구를 진행하고 있는 상태로 시장은 유아기에 해당
- Affymetrix, Illumina 등에서 일반적인 바이오칩 생산 판매하고 있으나 이미지 분석 장비 등의 고가 장비가 함께 사용되어야 만 이 분석 가능
- 미국 Harvard 대학의 Lieber 연구진 등은 Si 나노선을 이용한 고감응도의 바이오센서 개발에 성공하였으나 기술의 단계는 아직 단위 소자의 시연에 머무르고 있는 실정이며, 대면적에서의 실용성 있는 센서 개발은 미비함
- 네델란드 Delft 대학의 Dekker 그룹 역시 나노튜브 및 나노선 트랜지스터를 제작하여 다양한 화학-생화학 물질을 검지하는 시스

템을 연구 중에 있음

- 미국의 최근 5년간 관련 특허가 약 5만건 접수되었으며 선행투자가 활발이 이루어짐

최근 실리콘 기반의 MEMS 기술을 바탕으로 미세유체칩 등 다양한 바이오칩에 큰 영향을 끼치고 있으며 반도체 기술과 바이오 기술이 융합되어 사용되게 하는데 일조를 하였다. 다양한 형태의 유전자 분석칩을 이용하여 수백만 개의 유전자 염기서열 및 염색체 등을 분석하는 반도체 기술이 개발되고 있다. Affymetrix 사는 실리콘 웨이퍼를 기질로 이용하고 반도체 노광기술을 이용하여 유전자어레이칩을 개발하였고 현재 시장에서 우위를 차지하고 있다. 반면에 CombiMatrix사는 기존에 사용되어져 왔던 CMOS 기술을 플랫폼으로 응용하여 전기화학적으로 유전자어레이를 원하는 형태로 변형 가능한 집합체를 SRAM 구조로부터 가져왔다. 기초적인 기술 중 하나인 반도체 실리콘 표면 개질을 통한 표면화학성질을 직접적으로 조절하는 것은 많은 곳에 응용을 할 수 있는데 이는 현재 나노 기술과 융합되는 다양한 곳에 쓰인다. CMOS 기술은 광학적인 장치가 필요 없이 측정을 가능케 하고 가격 및 제품의 크기, 복잡함 등을 해결하는데 많은 도움을 줄 수 있다.

2. 바이오반도체의 미래

일반적으로 바이오기술 시장은 막대한 이윤을 가져다주기 때문에 그에 따른 유혹이 매우 크다. 연구용 바이오칩 시장등과 같은 곳에서는 바이오반도체 기술은 이미 많은 기술적 진보를 이루었고 이러한 기술들을 다른 분야에 응용하고 이용하는 것은 이제 시작하는 단계이다. 바이오 기

초학문 등 관련 있는 여러 분야의 숙련과 반도체 기술과 공정이 원하는 성장치 만큼 도달한다면 바이오반도체칩을 생물학 및 인체 의학 분야에 적용시키는 것은 엄청난 속도로 빠르게 발전할 것이다. 비슷한 예로 비휘발성 메모리등과 같은 하이브리드 실리콘칩 등의 개발은 현존하는 많은 기술의 발전을 도모할 것이다. 유전자서열을 스캔하는 역할을 할 수 있는 스마트폰과 같은 소형장치, 유전자 및 단백질 등 여러 정보와 특성을 확인하고 인체유해 물질 등을 분석하는 장치 등이 개발될 것이고, 이 모든 기능들이 개인의 용도에 맞추어 다기능적인 제품으로 의료/환경 진단 및 보호 시장에 상용화될 것이다. 또한, 생물체 혹은 인체 내에 내장하여 실시간으로 모니터링하거나 인체 내에 내분비물 및 신경 세포 등 여러 활동 등을 확인 할 수 있는 바이오칩들은 성공을 이루어 나가고 있다. 재료의 원리를 이해하고 전문가가 되는 것은 매우 중요한 성공의 요인이 되고, 생물학이 무어 법칙을 따르기 시작하는 것과는 상관없이, 바이오반도체칩은 더욱 빠르고 정교한 분석을 오류없이 분석해 내고 알려 줄 것이다.

IV. 바이오반도체의 극복 과제

바이오반도체칩이 상업적으로 성공을 하기 위해서는 현재 성장하고 있는 바이오 시장에 맞추어 원하는 수요 및 조건 등을 충족시켜야 한다. 생물학은 내적으로 변동이 매우 심하고 이는 재현성이 굉장히 좋아야 함을 의미한다. 이는 장치가 복잡하면 복잡할수록 장치의 스펙이 더욱 뛰어나야 함을 의미한다.

기술적으로 성공하기 위해서는 몇 가지 가장

중요한 것들이 있다.

첫째는, 재료 및 공정 특성에 관한 것으로, 현재까지 반도체 산업의 성장을 위해 많은 재료들이 개발되어왔다. 이는 바이오반도체칩에 사용되는 제품으로 제조된 것이 아니다. 이로 인해 많은 재료들은 바이오칩에 쓰이는데 적합하지 않은 것이 대다수이다. 이에 맞는 재료, 공정 기술이 발달해야 하는 것은 기술적으로 성공하기 위한 중요한 요인 중 하나이다.

둘째는, 민감도 극복에 관한 문제이다. 바이오 샘플을 바이오칩으로 검사할 때는 표면 화학특성에 매우 민감함을 띄고 있다. 낮은 바이오물질 결합과 낮은 형광성을 띄고 있는 단점을 최대한 좋은 민감도를 가지도록 만드는데 의의를 두고 있다. 현재 재료들과 공정기술로는 일반적인 반도체는 액상 및 다량의 이온 환경에서는 잘 작동이 되지 않고 많은 오류를 나타낸다. 다양한 나노 물질과 같은 하이브리드 재료 및 공정들이 이러한 문제점들을 해결할 수 있을 것이다. 하지만 여기에 또 다른 난관이 있을 것이며 이러한 문제점들을 극복하여 바이오반도체 기술의 기반이 탄탄하고 재현성이 높은 것으로 만들어야 할 것이다.

일반적인 실리콘 등의 반도체 재료만으로는 바이오반도체칩의 모든 요구를 충족시켜주지 못할 것이다. 유체 조절을 위해 마이크로 단위의 공정으로 제조한 고분자물질은 경제적으로 많은 장점을 가지고 있으며 또 다른 해결방안으로 바이오칩을 제조하기 위한 좋은 방법이 될 것이다. 예를 들면, 과거에 성공한 바이오칩인 Biacore사의 시스템으로 이는 단백질 결합현상을 확실하게 감지해낼 수 있었고, 이는 고분자로 제조되었지만 여기에 실리콘 밸브를 삽입하였다. 실리콘

이 모든 기술에서 해결법은 아니지만 용도에 맞게 쓰이는 것이 좋은 접근법이라 할 수 있다.

세 번째로는, 바이오컨텐츠 개발 부족 현상에 있다. 바이오반도체칩의 구세대라인 이용은 태양광전지, LED 등의 산업과 비교하여 아직도 확실한 컨텐츠를 가지고 있지 못하다. 충분한 시장성 확보와 반도체 기술에 적합한 바이오컨텐츠 개발이 중요한 시점에 도달해 있다. 일반적으로 바이오반도체칩은 일회용 사용이 대부분이다. 이를 강점화하고 어레이형태의 다양한 컨텐츠를 동시에 분석할 수 있는 시장의 요구를 파악하고 개발하는 것이 중요하다.

이외에도 고감도 CMOS 기반 바이오센서 기술, 휴대용 진단기에 적합한 초간편, 고효율 시료 전처리 기술, CMOS 센서의 신호처리 기술 및 임상 데이터 분석 기술, 바이오분자 접합 기술 등이 향후 기술적으로 시급히 극복되어야 기술 분야로 생각된다.

V. 결 언

바이오반도체 분야는 PC, 모바일, DTV 등과 같이 고성능 건강모니터링 전용 프로세서 및 센서반도체 등에 의해 IT산업과 의료산업이 융합되는 시스템산업이 될 것이며 가정 및 이동시 개인 건강에 대한 조기진단, 예방환경을 제공되며 편안하고 안락한 생활환경 조성에 필수적인 제품이 될 것이다. 또한 바이오가 반도체기술인 CMOS 기술에 융합되어 당뇨, 암 진단용 센서가 제작되며 화장실 등에 장착되며 향후에는 개인의 신체에 삽입 장착되며 건강한 환경을 조성해

큰 기여를 할 것으로 예상되는 분야이다.

이러한 서로 다른 분야의 기술적 필요성이 부각되고는 있지만, 아직도 바이오분야와 반도체분야의 의사소통에 한계를 보이고 있다. 바이오산업과 반도체산업간 상호 이해부족과 개발정보 등의 교류부족 및 협력관계 미형성으로 인해 연구개발에 한계를 직면하고 있다. 또한 아직까지 관련 기술용어 정립의 미비의 숙제가 남아 있다. 이러한 점들을 극복하기 위해서는 이중기술에 대한 상호 이해와 만남과 교류의 장이 지속적이고 개방적으로 이루어져야 함을 간과해서는 안 될 것이다.

참고문헌

- [1] Andy McShea, David Danley, Sho Fuji, Semiconductor Biotechnology: Today, Tomorrow, and Future Trends, Future Fab International, 제 16호, pp.16-18, 2004.
- [2] Mihail C Roco, Nanotechnology: convergence with modern biology and medicine, Current Opinion in Biotechnology, pp.337-346, 2003.
- [3] 성건용, 이철성, 박찬우, 안창근, 양중현, 김안순, 김태엽, 바이오 CMOS 집적 소자 기술, pp.27-38, 주간기술동향, 2009. 10. 14.
- [4] www.combimatrix.com

저자소개



김 상 호

1996년 7월 포항공대 화학공학과 박사
 1992년 2월 포항공대 화학공학과 석사
 1990년 2월 부산대학교 고분자공학과 학사
 2007년 3월~현재 경원대학교 바이오나노대학 조교수
 2002년 11월~2007년 2월 (주) 삼성전자 수석연구원
 2000년 6월~2002년 10월 (美) Univ. Cincinnati 전자공학과 교환교수/연구원
 1999년 2월~2000년 5월 (英) Univ. Sheffield 화학과 연구원/Lecturer

주관심 분야 : BT-IT 융합기술