

Charge Coupled Device의 研究, 開發 및 生産에 關하여

● 技術資料

金 忠 基*

- 차 례 -

1. 머리 말
2. 電子結合素子の 動作原理
3. 初期의 電子結合素子
4. 문제의 解決
5. 商品化단계에서의 問題點들
6. 結 論

1. 머리 말

電子結合素子は 1969년 미국의 Bell Telephone Laboratory에서 W.Boyle과 G.Smith에 의해서 발명된 후¹⁾ 수년간의 각 연구소에서의 開發과정을 거쳐 1975년 1월 소규모 商品化에 까지 이르고 있다.

여기에서 電子結合素子の 動作原理와 발명 당시의 많은 문제점들이 開發과정에서 어떻게 해결되었는가를 살펴보고 소규모 商品化에서 제기되는 몇가지 문제점들을 기술하고자 한다.

2. 電子結合素子の 動作原理**

電子結合素子(CCD)는 여러개의 MOS(Metal-Oxide-Semiconductor) Capacitor를 密集된 상태로 모은 것이다. (그림 1)

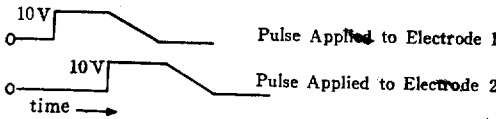
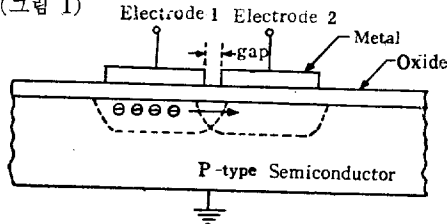


그림 1. 電子結合素子の 動作原理

그림 1에서와 같이 전극 1에 펄스를 가하면 처음에는 반도체 표면에 Depletion Region이 생기고 시간이 경과하면 이 Depletion Region에서 격자의 열진동에 의해서 발생하는 전자-정공쌍(Electron-Hole Pair) 중 전자가 반도체의 표면에 모여 反轉層(Inversion Layer)를 형성한다²⁾. 펄스를 가했을 때 부터 反轉層이 형성될 때 까지의 시간은 반도체내의 불순물의 농

도와 온도에 따라서 결정되며 잘 처리된 실리콘의 경우 室溫에서 이 시간은 2~3분 정도가 된다. 격자의 열진동에 의해서 발생한 電子는 반도체에 빛을 비추지 않았을 때 생기는 電子이므로 여기에서 暗電子라고 부르기로 한다. 反轉層이 형성되기 전에 외부에서 빛을 비추거나 또는 다른 전기적인 방법으로 電子를 Depletion Region에 투입하면 이 電子는 반도체 표면에 모여 저장되며 暗電子가 이에 서서히 합쳐진다. 전극 2에 그림 1에서 표시된 것과 같은 펄스를 가하면 전극 1에 저장되어 있던 電子들은 전극 2로 이동한다.

이 현상을 電子結合(Charge Coupling)이라고 한다. 이때 전극 1에 있던 電子의 몇 %가 전극 2로 이동하는가가 문제가 되며 이것을 이동효율(Transfer Efficiency)이라고 한다.

3. 初期의 電子結合素子

Bell Telephone Laboratory에서 최초로 제작된 電子結合素子は 그림 1과 같이 전극이 두개있는 아주 간단한 것이었다. 이와같이 간단한 素子로 우선 電子結

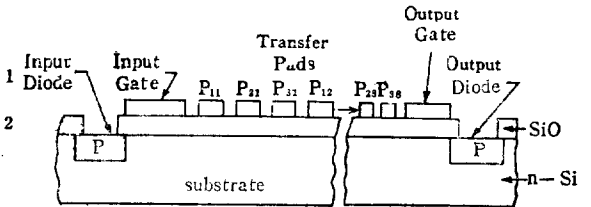


그림 2. Bell Telephone Laboratory에서 초기에 제작한 CCD Shift Register의 단면도(Ref.3)

합이 되는 것을 확인한 다음 그림 2와 같이 26개의 전극을 가진 素子를 개발하였다³⁾. 이 素子の 電極간의 간격은 3 μ m이었다. 이 素子の 入力電極에 펄스를 가하면 電子가 주입되며 주입된 電子를 電極을 따라 이 동시켜 出力단자에서 꺼내면 이 素子は Shift Register가 된다.

또 약 10msec동안 매 3전극 중 하나에 높은 전압을

*正會員 · 韓國科學院 副教授(工博)

**본 논문에서는 N-Channel만을 다룬다. 그러나 P-Channel 電子結合素子도 같은 原理로 동작한다

결고 이 素子에 影像을 비추면 影像의 강약에 따르는 電子가 電極에 모이게 된다. 이 電子를 이동시켜서 출력력을 얻으면 이 素子는 影像을 電氣로 바꾸는 TV 촬영기가 된다. 이와 같은 실험결과 두가지의 큰 문제점이 발견되었다. 첫째는 電極간의 간격이 3 μ m보다 작아야만 再現性 있는 素子를 만들 수 있다는 것과 둘째는 이동효율이 99.5% 정도밖에 안된다는 것이다. IC (Integrated Circuit)에서 전극간의 간격을 3 μ m이하로 줄이는 것은 현재의 사진식각 기술로는 상당히 어려운 것이다. 물론 요즘의 Microwave Transistor에서는 폭이 1 μ m 정도인 Aluminum을 사용하고 있으나 이것을 IC에 적용하면 Yield가 너무 낮아져서 거의 商品性을 잃게 된다. 또 電子結合素子를 TV 촬영기에 응용하는 경우 電子는 1000번 내지 2000번의 이동을 거쳐서 出力단자에 오게 되므로 이동효율은 최소한 99.99%가 되어야 한다.

4. 문제의 해결

電極간의 간격에 의한 再現性문제를 해결하는 방법으로 네가지가 제시되었다. 그 첫째방법은 모든 電極을 비저항이 큰 물질로 연결하는 것이다⁶⁾. 비저항이 큰 물질로 IC 기술에 쉽게 적용할 수 있는 것으로 불순물을 넣지 않은 多結晶실리콘(Polycrystalline Silicon)이 있으며 이의 비저항은 대략 10⁵ Ω -cm이다. 이 방법

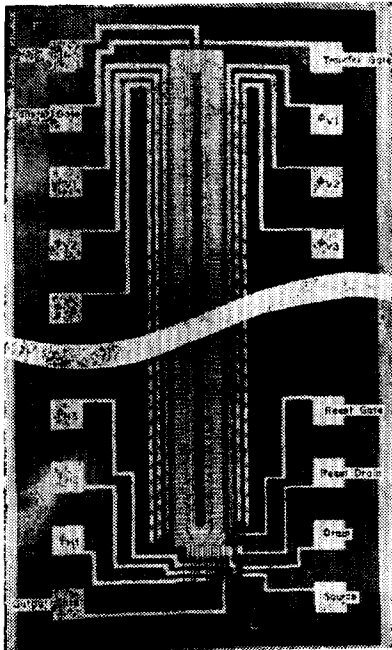


그림 3. Fairchild에서 1973년 3월 상용화된 Linear Image Sensor. 이 Sensor는 500개의 影像點을 가지고 있다.

을 사용하여 Fairchild에서는 500개의 影像點을 가진 Linear Image Sensor를 세계에서 최초로 1973년 3월에 상용화하였다. (그림 3)

또한 10,000개(100 \times 100)의 影像點을 가진 Area Image Sensor도 개발되었고 이것을 이용하여 완전 반도체의 TV 촬영기도 상용화하였다. 두번째의 방법은 전극과 전극사이에 절연체를 사용하여 전극을 겹치게 하는 것이다(그림 4). 이 방법을 사용하려면 쉽게 산화시킬 수 있는 물질을 電極으로 사용하여야 한다. 多結晶실리콘은 실리콘과 같이 산화시킬 수 있으며 Doping을 하면 비저항을 낮게 할 수 있으므로 여기에 아주 적합하다. 이 방법은 처음 RCA에서 채택 되었으며

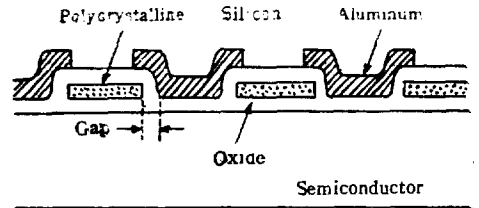


그림 4. RCA에서 개발한 Polysilicon-Aluminum CCD의 단면도

200여개의 電極을 가진 素子를 만드는데 성공하였다⁵⁾. GE에서는 多結晶실리콘 대신 Molybdenum을 사용하여 어느정도 성공을 하였으나⁷⁾ Molybdenum을 이용하는 기술이 아직 충분히 발전하지 못하여 많은 어려움을 겪었다. Bell Telephone Laboratory에서는 Tunstent도 사용하여 보았으나 큰 성과는 얻지 못했다. 최근의 동향은 모든 전극을 多結晶실리콘으로 바꾸는 것이다. Bell Telephone Laboratory에서는 세층의 多結晶실리콘을 사용하여 Picture Phone에 쓸 수 있는 TV 카메라를 개발하였고⁷⁾ Fairchild에서는 두층의 多結晶실리콘을 사용하여 1728개의 影像點을 가진 Linear Image Sensor를 상용화하였다. (그림 5)



그림 5. Fairchild에서 개발된 1,728개의 影像點을 가진 Linear Image Sensor.

이 Sensor에는 두층의 Polysilicon이 사용되었다.

Texas Instrument에서는 Aluminum을 산화시키는

방법을 개발하여 두층의 Aluminum을 사용하고 있다⁸⁾ 세번째 방법은 산화막의 모양을 고의적으로 조작하여 Aluminum이 연속적으로 입혀지지 않도록 하는 것이다. 이 방법에 대해서는 Bell Telephone Laboratory에 제시한 강대원박사께서 1972년 9월 과학기술연구소에서 강연을 하셨으므로⁹⁾ 여기서는 자세한 것은 약하고자 한다.

끝으로 네번째의 방법은 전극과 전극 사이에 Floating Diffused Region을 삽입하여 전극간의 간격이 $3\mu\text{m}$ 이상이 되어도 素子が 신뢰성있게 동작하도록 하는 것이다. (그림 6)이러한 素子를 Conductively Connected

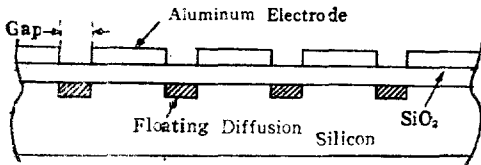


그림 6. C'D의 단면도

Charge Coupled Device(C'D)라고 부른다. Bell Telephone Laboratory에서는 C'D를 사용하여 4Kilo-Bit Digital Memory를 제작하는데 성공하였다¹⁰⁾

電子 이동효율이 99.5% 정도로 낮은 것은 반도체 표면의 Surface State에 電子가 Trap 되기 때문이다. 이 문제점을 해결하는 데 두가지 방법이 제안되었다. 그 첫째는 모든 電極에 소량의 電子를 항상 저장하여 이 電子들로 하여금 Surface State의 영향을 방지하도록 하는 것이다. 이때 사용되는 소량의 電子를 Fat Zero라고 부른다¹¹⁾. 둘째 방법은 반도체 표면에 얇은 N층을 만들어 電子가 반도체 표면으로부터 격리되도록 하는 것이다¹²⁾. 이렇게 제작된 素子에서는 電子가 반도체 표면으로부터 항상 떨어져서 반도체 내부에서 움직이므로 이러한 素子를 Buried Channel CCD 혹은 Peristaltic CCD¹³⁾라고 한다. 이에 對하여 電子가 반도체

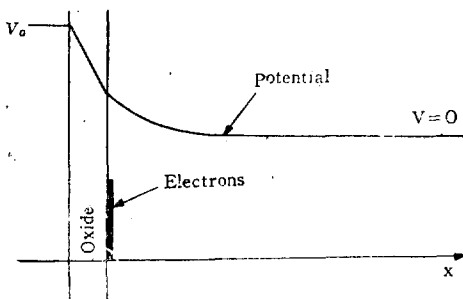


그림 7-(a). Potential and charge distribution in a Surface Channel CCD

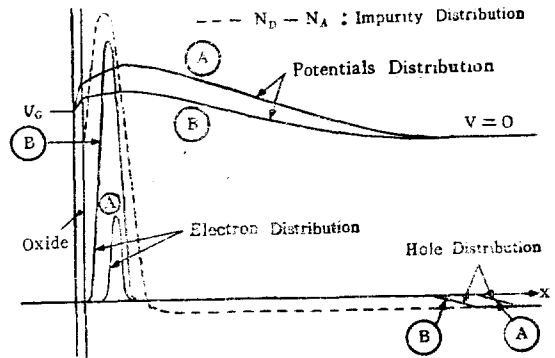


그림 7-(b). Potential and Charge distribution in a Buried Channel CCD

그림 7. Buried Channel CCD Surface Channel CCD의 動作原理의 비교

표면에서 움직이는 素子は Surface Channel CCD라고 한다. (그림 7) Fat Zero를 사용하는 Surface channel CCD는 충분한 이동효율을 얻을 수는 있으나 FatZero를 균일하게 주입하는 것이 매우 힘들어서 요즘은 Buried Channel CCD가 많이 사용되고 있다.

5. 商品化 단계에서의 문제점들

電子結合素子は 반도체 내에서 電子가 이동시킴으로써 어떤 특수한 성능을 갖게 되는 것이다. 이 점에서 電子結合素子は 다른 일반적인 집적회로와 큰 차이가 있으며 磁氣버블記憶裝置와 유사하다. 일반적인 집적회로에서는 Diode, Transistor, Resistor, Capacitor등을 연결하여 원하는 特性을 갖는 回路를 만들고 있으나 電子結合素子内에는 이와같이 개별적으로 구분할 수 있는 부품이 없고 素子 전체가 하나의 회로가 된다 따라서 일반적인 집적회로와 같이 설계한 후 제작공정에 들어가기 전에 부품을 사용하여 Circuit Board에서 설계를 검토할 수가 없다. 이러한 의미에서 電子結合素子를 Functional Device라고 부른다.

商品化단계에서 처음으로 부딪치는 문제는 이와같은 새로운 기술을 사용하여 어떠한 종류의 商品을 만들어야 하는 가이다. 개발 과정에서 여러가지의 Image Sensor, Memory Device등이 제작되었지만 이들은 어디까지나 실험실에서 기술개발을 하기 위한 것이었으며 고객의 요구사항은 별로 참조되지 않았던 것이다. 고객의 요구사항을 알아내기 위해서 연구실의 능력을 널리 보급할 수도 있었으나 이렇게 하면 경쟁자가 미리 알고 商品을 먼저 내놓을 위험성이 있다. 이러한 난점을 해결하는 방법으로 첫째 특정한 고객과 계약을 맺고 그 고객이 요구하는 商品을 개발하여 주며 고

객의 여러 문제 점들을 배우는 것을 들 수 있다. 또한가지 방법은 연구실이 큰 회사의 연구실일 경우 그 회사의 다른 제통에서 필요한 素子를 개발하여 개발된 素子를 그 회사에서 전적으로 사용하는 것이다. 前者의 경우는 素子만을 生産하는 회사에 적합하며 後者の 경우는 素子만을 생산하지 않고 고객이 사용할 수 있는 System을 생산하는 회사에 적당하다.

생산할 商品이 결정되면 그 다음으로 이제까지 개발된 기술 중 어떤 것을 이용할 것인 가를 결정하여야 한다 이것은 生産하고자 하는 상품의 특수성, 회사내의 기술, 앞으로 새로운 기술이 개발될 가능성 등을 고려하여 결정하여야 한다. 이 결정을 잘못 내리던 수년 간 회사에 큰 손실을 가져올 수 있다.

생산단계에서 세번째로 문제되는 것은 기술자의 양성과 조직문제이다. 일반적으로 연구실에서 종사하는 사람들은 항상 새로운 분야를 原하며 生産과정에서 매일 매일 일어나는 문제들을 해결하는 것을 敬遠시키는 경향이 있다. 이러한 이유로 새로운 기술자를 양성하는 경우에 자칫 잘못하면 연구실에서 수년전에 시도해 보고 실패한 것을 生産과정에서 반복하게 된다. 이때에 생기는 손실은 막대한 금액이 될 수도 있다. 또 새로운 기술자들을 효율적으로 조직하며 이들을 지도하며 이끌고 나갈 인물을 구하는 것이 새로운 기술인 경우 매우 힘들게 된다. 이 문제를 해결하는 최선의 방법은 모르겠으나 최근의 동향은 연구실에서 종사하던 사람들을 직접 生産과정에서 근무하게 하며 생산이 어느정도 程度에 오르면 다시 이 사람들을 연구소로 보내는 것이다. 이렇게 함으로써 개발과정에서 生産으로 단시간에 이동할 수 있다.

6. 結 論

하나의 새로운 發明이 商品化되는 과정을 電子結合素子에서 觀察하여 보았다. 初期의 電子結合素子는 에디슨이 發明한 손으로 돌리는 전축과 같이 原始的인 것이었다. 이러한 原始的인 素子를 TV 카메라와 Computer Memory까지 開發하는데 오는 많은 문제점들을 하나씩 해결해 나가는 過程을 觀察함으로써 電子素子の 開發에 관심을 가지고 계신 여러분께 조금이라도 도움이 되기를 바란다. 끝으로 원고를 검토해 주신 한국 과학원의 박상인, 주동혁氏께 감사사를 드린다.

참 고 문 헌

1. W.S. Boyle and G.E. Smith, "Charge-Coupled Semiconductor Devices," BSTJ, Vol.49, April, 1970 G.F. Amelio, M.F. Tompsett, and G.E. Smith, "Experimental Verification of the Charge

Coupled Device Concept," BSTJ, Vol.49, April, 1970

2. A.S. Grove, "Physics and Technology of Semiconductor Devices," John Wiley and Sons Inc. 1967
3. M.F. Tompsett, G.F. Amelio, and G.E. Smith, "Charge Coupled 8-Bit Shift Register," Appl. Phys. Ltrs., Vol.17, 1970
4. C.K. Kim and E.H. Snow, "P-channel Charge-Coupled Devices with Resistive Gate Structure," Appl. Phys. Ltrs., Vol.20, 1972
5. W.F. Kosonocky and J.E. Carnes, "Two-Phase Charge-Coupled Devices with Overlapping Polysilicon and Aluminum Gates," RCA Review Vol.34, March, 1973
6. W.E. Engeler, J.J. Tiemann, and R.D. Baertsch, "Surface Charge Transport in Silicon," Appl. Phys. Ltrs., Vol. 17, November, 1970
7. C.H. Sequin et al., "Charge Coupled Area Image Sensor Using Three Levels of Polysilicon," IEEE Trans. on Elec. Devices, Vol. ED-21 November, 1974
8. D.R. Collins, et al., "Electrical Characteristics of Long CCD Shift Registers Fabricated Using Al-Al₂O₃-Al Double Level Metallization," International Electron Device Meeting, Washington D.C., December, 1973
9. 강대원 "Two-phase Charge Coupled Device에 관한 최근의 연구결과. '한국 과학 기술 연구소' Newsletter, 1972년 12월호 p.11
10. R.H. Krambeck, et al., International Electron Device Meeting, Washington D.C. December, 1973
11. R.J. Strain, "Properties of an Idealized Traveling-Wave Charge Coupled Device," IEEE Trans. on Elec. Devices, Vol. ED-19, October' 1972
12. C.-K. Kim, J.M. Early, and G.F. Amelio, "Buried Channel Charge Coupled Devices," NEREM Rec., pp.161 October, 1972 R.H. Walden et al., "Buried Channel CCD." B.S.T.J. Vol.51, pp.1635~1640, 1972
13. L.J.M. Esser, M.F. Collet, and J.G. Santen, "The Peristaltic Charge Coupled Device," Tech. Dig. of IEDM, pp.17~20, December, 1973