

MOS 集積회로의 信賴度

朴 桂 永 譯

Bipolar 트랜지스터 IC 나 MOS 트랜지스터 IC를 莫論하고 酸化실리콘 層은 매우 重要한 位置를 차지하고 있다. MOS 회로에 있어서는 이 酸化層이 半導體를 保護하는 作用外에 素子의 一部로서 作用하고 있으므로 MOS 회로에서 發生하는 故障의 內容도 多小 다르게 된다. 즉 始動電壓(Threshold voltage)의 變化나, 게이트의 短絡등과 같은 酸化層에 依한 故障은 MOS IC에만 일어나는 現象이다.

그 外에 製造過程에서의 汚染이나, 製造條件의 變化가 MOS에 미치는 影響은 매우 크다 할 것이다. 트랜지스터와 素子間의 導線의 值數가 比較的 적기 때문에 마스크의 크기와 그 造作이 미치는 影響 亦是 重要하게 된다.

美國 헛트스빌에 있는 NASA의 MOS IC의 信賴度에 關한 研究結果에 依하면 酸化層의 成長蝕刻 및 再成長技術이 精巧하여지고 嚴格한 工程管理의 덕분으로 MOS IC는 安定하여져서 量產할 수 있게 되었다고 한다.

예를들면 어떤 製造業者로부터 數千個의 MOS IC를 入手하여 25°C, 85°C에서 動作시키고 125°C에서 逆電壓을 加하고, 120°C와 150°C에 貯藏하는 試驗을 하였다. 總 4,339,000 회로-時間동안 試驗해 본 結果 3個의 不良밖엔 나오지 않아 最大壓迫條件에서 0.095%/1000hr의 故障率을 보이고 있다. 여기서 加速率을 8(註1)이라 하면 이시험은 26.4×10⁶ 회로 時間에 60%

信賴度 準位에서 0.016%/1000hr의 故障率에 該當된다(實際 應用에 있어서는 素子を 規格値의 30% 附近에서 使用하지만 NASA는 最大規格 溫度 및 電壓에서 試驗하였다. 이 境遇의 加速率은 5~20 程度라 한다.)

이 試驗結果는 NASA의 MOS IC를 使用한 運轉系統의 經驗 結果와 비슷하다. 그 例로서 IMP-D 및 IMP-F 衛星에 使用한 MOS IC는 19×10⁶회로-時間동안 故障이 두개 생겼는데, 이것은 60% 信賴度 準位에서 0.016%/1000hr의 故障率에 該當한다. 一年동안 使用한 後에 故障이 생겼는데 그 故障原因은 MOS 自體에서 생가지 않았음이 判明되었다.

情報處理系統에 使用된 MOS IC에서는 2.5×10⁶(註2) 회로-時間동안에 4個의 故障이 發生하였는데 이 結果亦是 0.016%/1000hr의 故障率에 該當된다. 이 故障의 全部가 처음 150動作 時間內에 생겨났다. 始作하기 前에, 各機器를 檢査하지 않았다.

따라서 MOS IC의 信賴度에 關해서 다음과 같은 結論을 내릴 수 있다.

構造가 비슷한 MOS형과 Bipolar 형 IC의 故障率은 거의 비슷하다. 이 둘사이에 故障率의 差異가 있다면 그것은 製造技術上의 問題라기 보다는 그 應用, 檢査, 品質管理의 差異에서 온다.

複雜한 MOS IC는 單體部分品이나 或은 比較的 簡單한 IC를 프린트 基板위에 組立하여 똑같은 機能을 가지도록 製作한 회로에 比하여 故障率이 적으므로 複雜한 IC를 만들수록 信賴

※韓國科學技術研究所

譯者 註

本記事는 美國 Electronics 誌 1969年 6月 23日號에 記載된 "How Reliable are MOS IC's"에서 拔萃 翻譯한 것이다.

註1) 原本에 8로 되어 있으나 6의 誤植인것 같다.

註2) 2.5×10⁶은 25×10⁶의 誤植 인것 같다.

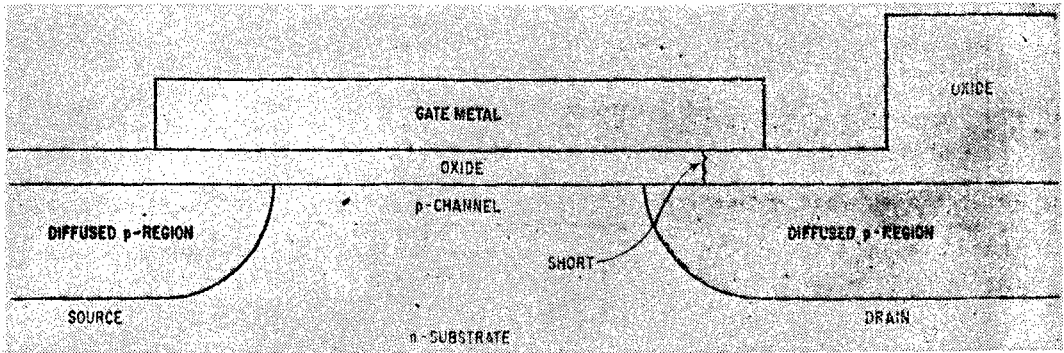


그림 1, MOS 트랜지스터의 구조, 게이트와 p형부분의 얇은 SiO₂ 층은 파손되기 쉽다

도는 높아진다.

매우 신뢰도가 높은 MOS IC를 제작할 때는品質管理를 徹底히하고 高度로 訓練된 機能과 思慮깊은 取扱과 應用, 効果적인 檢査方法을 採擇하여야 한다.

應用範圍內에서는 收率과 包裝技術이 許容하는 限 LSI MOS 回路가 信賴度를 올리는데 有望하다.

NASA에서는 가장 普遍的으로 使用되는 p-채널, 인헨스형 MOS 回路로써 試驗하였으나 이 結果는 n채널디플렉션형이나 콤폴리멘타리 IC에도 充分히 適用할수 있을 것이다. NASA의 試驗에 使用된 IC의 酸化層두께는 게이트 部分이 2000Å이고 나머지 部分은 1,500Å이 었다.

그림 1에 圖示한 MOS構造에서 그特性이 劣化되고 故障이 나는 原因을 보였다. 게이트와 드레인 사이에 逆電壓(-)을 印加하면 靜電界가 形成되어 게이트 電極 밑의 n형은 P형으로 바뀌어 소스와 드레인 사이에 P-채널을 形成한다.

이 채널을 形成하는데 必要한 最小電壓值를 始動電壓(Threshold Voltage), V_T 라 한다. 게이트와 基體사이에는 酸化層이 있으므로 入力印加단스는 매우 높다. 게이트전극은 게이트를 넘어서 P領域까지 延長되어 있어서 電界效果에 의하여 傳導性채널이 게이트의 領域에서 形成되도록 한다. (萬一 게이트 電極의 配列이 잘못되어 p-n 接合을 넘지 못하면 傳導性 채널이 P領域에 到達하기 前에 끝나 버리므로 MOS 特性이 사라진다) 여기 게이트 電極이 겹쳐진 部分의 酸化層에는 높은 電界가 생기므로 MOS構造 中에서 가장 弱한 곳이다.

故障原因의 한가지 例는 浮遊電壓에 依하여 入力게이트의 絕緣이 破裂되는 것이다. 이 破列의 結果로 特性이 劣化되기도 하고 때로는 完全히 短絡되어 버린다. 過渡적인 조그마한 에너지로서도 실리콘-알루미늄 化合物이 生成하고 이 結果로 브래다운 電壓이 減少한다. 通普使用하는 電壓보다 높거나 若干높은 過渡電壓이 걸려도 게이트가 完全히 短絡되는 수가 있다.

MOS素子は 그 規格이 普通 10~50 Volt이므로 接地되지 않은 납인두같이 比較的 높은 電壓에 接觸되면 入力게이트는 쉽게 破壞되어 버린다.

게이트가 破壞되는 또다른 原因은 사람이다. 나이론 같은 合成樹脂용단을 걸어가면 靜電氣(普通 200PF의 容量에는 5000V까지 生김)가 發生하므로 게이트를 손으로 만지던 게이트 酸化層이 破壞되어 버린다.

게이트 酸化層의 破裂은 게이트 電極과 基體와의 사이보다는 擴散部分과의 사이에서 많이 생기는데 그 原因은 擴散部分은 채널部分에 比하여 傳導度가 크기 때문이다.

게이트 酸化層의 破裂을 막기위해서는 칩 위에 다이오드와 抵抗器回路 같은 入力保護回路를 만드려 주고 取扱할때 靜電氣에 對하여 注意하여야 한다. MOS IC에서 다른 重要한 故障原因의 하나는 바늘구멍같은 酸化層의 缺陷이다. 酸化層成長技術이 發達한 지금에 와서도 바늘구멍은 生기고 있다. 마스크와 蝕刻의 順序에 따라서 게이트 電極의 重疊部分 아래에 있는 n형과 P형 半導體 위에 熱成長한 SiO₂층에 境界面이 生길수도 있다. 이러한 境界面에는 酸化層이 不

均一하고, 不均質한 不完全이 생겨 바늘구멍이 생길 可能性이 많다. 이와 비슷한 境界面은 오래된 酸化層과 새로 생긴 酸化層사이에서 생기기도 한다. 이미 있던 酸化層의 成長速度는 새로 생기는 酸化層의 成長速度와 다르기 때문이다.

이러한 境界面에서의 缺陷은 매우 적은 것부터 큰것까지 分布되어 있다. 酸化層內에서의 汚染은 特性에 큰 影響을 끼치므로 매우 注意하여야 한다. 이 汚染分布는 n형과 p형 半導體에 따라 다르고, p-n接合 附近의 結晶格子構造를 劣化시켜 電界에 견디지 못하게 한다. 다른 見地에서 記述하면 酸化層의 汚染은 製造工程에 影響을 주므로 信賴度를 低下시킨다. 汚染된 酸化 실리콘層은 純粹한 酸化層보다 蝕刻速度가 빠르므로 酸化層은 期待值보다 얇아지고 따라서 브랙다운 電壓은 期待值보다 낮게 된다.

낮은 始動電壓을 얻기 爲해서는 게이트 酸化層의 두께를 最小로 維持해야 하는데 普通 이값은 1000~2000Å程度이다. 이 두께는 Bipolar 트랜지스터에 比하면 매우 얇은 것이다. 따라서 格子缺陷이나 汚染이 酸化層의 두께와 絕緣特性에 미치는 影響은 至大하다 여기에 加重하여 蝕刻의 影響은 酸化層의 두께를 더욱 不均一하게

한다.

SiO₂는 普通導電金屬으로 使用되는 알루미늄과 400°C~500°C 附近에서 反應하여 酸化실리 콘層으로 吸收되므로 傳導性이 사라진다. MOS 回路는 이와 같은 높은 溫度에서 動作하지는 않으나 素子는 때때로 이 溫度附近에서 處理되므로 反應이 始作되게 된다. 規定溫度에서 動作할 때라도 酸化層안에 있는 조그마한 缺陷을 통하여 흐르는 濕泄電流에 依하여 反應이 일어나기에 充分하도록 部分的으로 加熱되므로서 結局에는 酸化層을 破裂하게 되는 境遇가 있다. 이現象은 그 反應의 進前이 指數函數的으로 일어나므로 매우 深刻하다. 即 알루미늄이 吸收될수록 濕泄電流는 增加하게 되고 濕泄電流가 增加하면 溫度가 上昇하여 알루미늄이 吸收되고 따라서 回路가 短絡되어 酸化層은 破壞된다.

알루미늄 移動現象은 Bipolar 트랜지스터에도 일어나나, 게이트의 酸化層에 미치는 影響이 매우 크므로 MOS 回路에 미치는 影響은 더욱 深刻하다.

完成된 IC에서 어떠한 方法으로 이러한 故障의 原因을 찾아낼 수 있을까? 始動電壓과 濕泄電流는 素子の 信賴度를 豫測하거나 檢査하는데

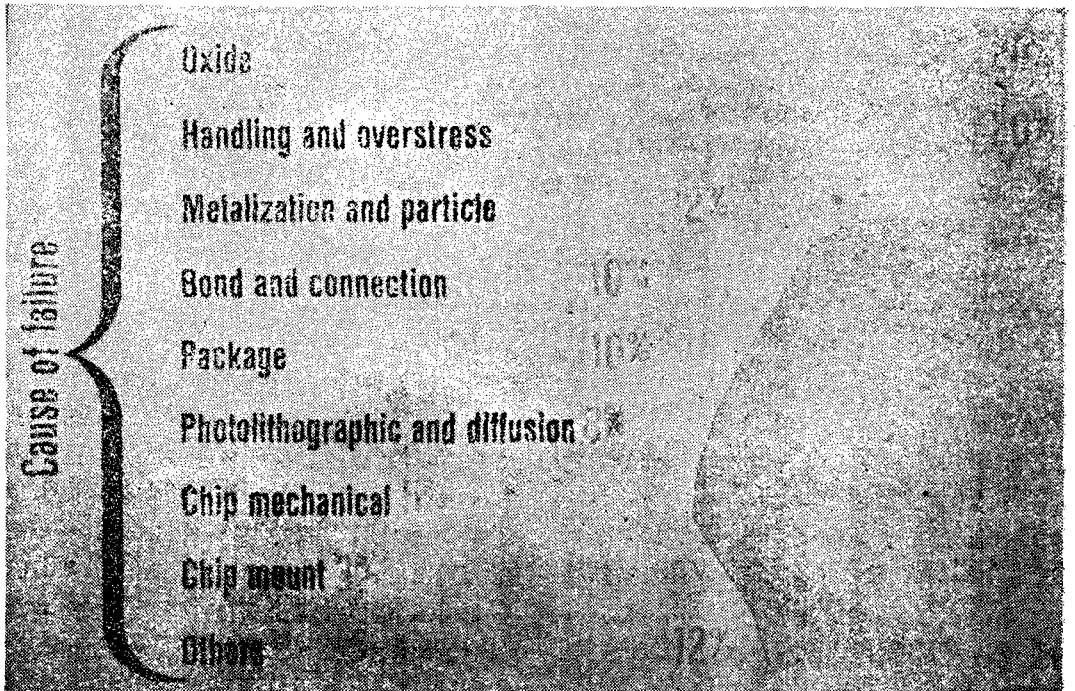


그림 2. MOS IC의 故障원인

가장 確實하고 便利한 두 파라메터이다. 이 파라메터들의 變化는 動作시킨지 단지 몇시간 후에는 檢出할 수 있는데 이 變化를 일으킨 機器는 거의 全部故障을 일으킨다. 칩을 單位로 볼때의 信賴度 問題는 MOS型的 경우나 Bipolar의 경우나 마찬가지 이다. 다이 接着, 導線熔接過程에서도 서로 相異한 問題點은 없으나 包裝에서는 若干 다른점이 있다. 그 理由는 MOS IC는 比較的 複雜한 回路로 構成하므로 보다 密集해 있어서 한 包裝안에 導線數와 熔接數가 훨씬 많아져서 故障이 發生하기 쉽다. 그외의

MOS IC의 包裝過程에서 생기는 故障은 普通半 導體裝置에서 發生하는 것과 同一한 것으로서 製造完了後의 表面汚染接着時의 汚染傳導, 最終 包裝時의 가스漏泄 등이 가장 혼란것들이다.

包裝이 完全히 끝난후에도 取扱途中에 故障이 생기는 數가 있으므로 檢査를 하여야 한다. 檢査費用은 MOS형이나 Bipolar형이나 同一하지만 MOS형인 경우에는 單位包裝안에 보다 많이 機能이 密集해있으므로 시스템當 檢査費用으로 換算하면 MOS型 IC의 檢査費用이 더 싸게 된다.