

- ◇ 高磁界, 大電流超傳導體
- ◇ 靜電氣를 防止하는 IC包裝材料
- ◇ 石炭가스의 煤化의 데이터는 有望性을 示唆
- ◇ 電子力發電의 將來性

- ◇ 核融合에 있어서 重要部品の 開發에 成功
- ◇ 熱電氣海洋熱 에너지變換 시스템
- ◇ 印刷配線板, 하이브리드 回路보다도 性能이 優秀한 磁器에나 塗布스틸板

### 高磁界, 大電流超傳導體

現在 超傳導磁石의 技術은 核融合反應爐와 巨大한 加速器, MHD發電 및 生化學등의 分野에서 漸次的으로 利用되고 있다.

超傳導現象을 最初로 發見한 사람은 1911年 Kamerlingh Onnes氏로서 이 경우에는 第1種超傳導體였으나 20年代에는 金屬合金의 超傳導特性에 관한 研究가 繼續되었다 이러한 超傳導體에 理論的 基礎를 賦與한 것은 戰後쓰런의 學者들이나 한편 이무렵에 美國에서는 遷移金屬合金에 대한 實驗的 研究를 함으로서 A15 結晶構造를 갖는  $V_3Si$  또는  $Nb_3Sn$  등이 높은 臨界溫度를 갖는다는 것을 明白히 하였다.

또한 61년에는  $Nb_3Sn$ 이 88kgauss까지 超傳導狀態를 維持할 뿐만 아니라  $10^5 A/cm^2$ 를 넘는 超傳導電流를 運搬하는 것을 發見하였으며 第2種超傳導體는  $H_{c1}$ 과  $H_{c2}$ 間의 磁場에서 多數의 磁束이 超傳導體中에 存在하는 混合狀態가 되었으며 高磁界超傳導體에서는  $H_{c2}$ 가 특히 높은 第2種超傳導體中에 서브루우프를 構成하였다.

優秀한 磁石導體가 되기 위하여는 高臨界溫度( $T_c$ )가 높은  $H_{c2}$ 를 가져야되며 以外에 高臨界電流密度( $J_c$ )가 必要한데  $J_c$ 는 超傳導體中 磁束運動에 關連되어 있다, 한편 磁束을 강한 피닝으로하면 高  $J_c$ 를 얻을 수 있으며 不純物, 轉位, 析出物 및 粒子境界등은 피닝에 매우 有效하게 된다.

그리고 磁束점프에 의한 超傳導狀態의 破壞를 防止하기 위하여는 超傳導體의 크기를 적게할 必要가 있다

最近 磁石導體는 正常金屬으로 相互分離된 多數의 微細한 필라멘트狀 超傳導體로되어 있으며 필라멘트直徑

은 普通  $50\mu m$ 以下이다.

50년에는 超傳導의 出現, 특히 高  $T_c$ 에 대한 臨界條件의 研究를 始作한 結果 1原子當 電子濃도가  $e/a$ 이라는 明白한 基準에 到達하였는데  $e/a$ 값은 4.7~6.4일 때 높은  $T_c$ 의 出現을 表示하였다.

그러나 約  $19^{\circ}K$ 이하의  $T_c$ 를 갖는 A15形 超傳導體는 構成體의 直接熔融으로 만들 수 있으나 보다 높은  $T_c$  材料의 合成에는 特殊한 技術이 必要하며 또한 보다 높은  $T_c$  材料의 開發은 A15形 構造의 研究中에서 誘導할 수 있다고 한다.

Gorpou氏에 의하면 眞性第2種超傳導體에서  $H_{c2}(0)$ 는  $(rT_c^2)$ 에 比例하고, 不純物形에서는  $\rho\eta T_c$ 에 比例하는데  $rT_c$ 는 正常狀態熱容量의 1次項인  $\rho\eta$ 는 正常狀態에서는 電氣抵抗에 比例하고 있다.

한편 純粹한  $Nb_3Sn$ 은 前者의 形態이나  $NbTi$ 와  $PbM06S8$ 등은 後者의 形態를 取하는데 체브릴相化合物의 高  $H_{c2}$ 值是 異常하게도 比抵抗值에 依存하고 있다. 高  $T_c$ 의 實現에는  $T_c, r, \rho\eta$ 을 增大시키면 良好하나 가장 容易한 것은 比抵抗值을 올리는 것이다.

매우 가는 필라멘트構造로서 磁束점프에 대한 安定化를 實現한 成功例로서  $Nb-Ti$ 合金系를 들수있는데 먼저 純銅中에 合金棒을 挿入한 後 冷間線引張과 中間에 닐링으로  $50\mu m$ 이하의 필라멘트로 한다. 다음에  $375^{\circ}C$ 에서 長時間에 닐링으로 프로세스를 終了하면 필라멘트로부터 4.2K, 5T에서  $10^4 A$ 의 導體를 構成할 수 있게 된다.

또한  $Nb-Ti$ 導體는 約 8T까지의 應用에서 一般的으로 優秀하나 8T보다 상당히 높은 磁場에서는 金屬間化合物을 利用해야 되나 이러한 化合物은 脆弱性때문에 直接引線할 수 없다.

그러나  $V_3G$ , 또는  $Nb_3Sn$ 이 細分割된 複合體에서는

擴散過程을 利用하여 처음으로 成功하였다. 製造方法은 Nb-Ti인 경우와 매우 類似하나 本 프로세스는 其他 A15系에서는 찾아볼수 없는 것으로서 相圖上에서 特殊한 特徵을 必要로 하게된다.

Nb<sub>3</sub>Sn 필라멘트複合體를 利用한 超大形 磁石이 Westinghouse社와 Airc社에서 現在 開發되고 있으나 이것은 將次 트가마크核融合試驗爐를 위하여 試作한 시스템의 一部으로서 이것은 A15形 複合體의 可能性에 관한 深刻한 테스트를 提供하고 있다.

또한 現在로서는 5~12T領域인 大形 磁石의 建設에 主要한 努力을 傾注하고 있으나 18T를 超過하는 領域에서는 그다지 努力을하지 않고있는 實情이다. 候補材料로서는 Nb<sub>3</sub>Ge, Nb<sub>3</sub>Al<sub>0.7</sub>Ge<sub>0.3</sub>, PbMo<sub>0.1</sub>S<sub>6</sub>등을 들 수 있으나 이것은 充分한 피닝의 세기와 純金屬그래픽 및 可能한 細分割化의 條件을 滿足하지 않으면 안된다 그리고 超傳導體의 基本的인 特性을 改善하기 위한 努力도 重要하며 遷移金屬領域의 새로운 化合物도 또한 枯渴되어 있지 않아서 三元化合物도 可能性이 있다.

將來에는 30K超傳導體나 1Mga超傳導體의 出現可能性이 充分히 크다<Science 208, 4446. '80>

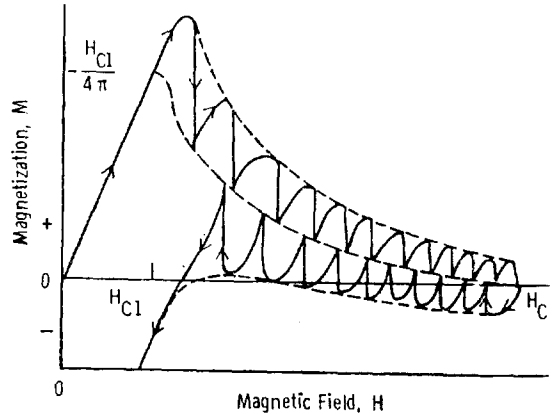


그림 3. II형, 超傳導體에 있어서 高Jc을 위한 電界對 磁化度

表 1. A15 結晶構造에 의한 超傳導性 二元 및 擬似二元 化合物

Compound	T <sub>c</sub> (K)	H <sub>c2</sub> (0) (T)	-(dH <sub>c2</sub> /dT), T=T <sub>c</sub> (K <sup>-1</sup> )
Nb <sub>3</sub> Sn	18.0	29.6	2.4
Nb <sub>3</sub> Al	18.7	32.7	2.5
Nb <sub>3</sub> Ga	20.2	34.1	2.4
Nb <sub>3</sub> Ge	23.2	37.1	2.4
Nb <sub>3</sub> Al <sub>0.7</sub> Ge <sub>0.3</sub>	20.7	44.5	3.1
Nb <sub>3</sub> Al <sub>0.5</sub> Ga <sub>0.5</sub>	19.0	31.6	2.4
V <sub>3</sub> Si	17.0	34.0	2.9
V <sub>3</sub> Ga	14.8	34.9	3.4

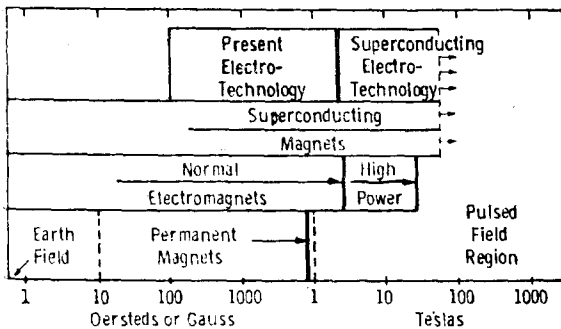


그림 1. 現在의 電氣技術과 超傳導技術의 比較

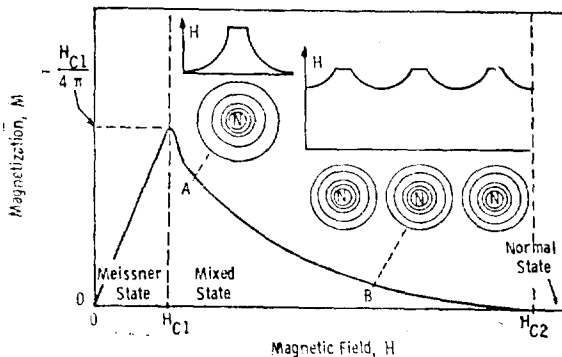


그림 2. II形 超傳導體에 있어서 낮은 Jc을 위한 電界에 대한 磁化度

### 靜電氣를 防止하는 IC包裝材料

VLSI時代를 맞이하여 MOSIC의 線幅은 보다 微細하게되고 酸化膜의 두께도 또한 薄膜으로 되어가므로 靜電氣에 의한 디바이스의 破壞問題가 MOS메이커나 利用者들에게 한층 重要하게 되었다.

現在 MOSIC는 100~200V程度의 낮은 靜電氣의 放電으로서 損傷을 받고있으며 CMOSIC에서도 250~3,000V로서 靜電氣의 損傷을 주고 있다. 人間이 타일床을 걸을 때 25KV以上の 靜電荷가 發生하는 것을 生覺한다면 MOSIC에 의한 靜電氣가 얼마나 危險한가를 알 수 있다.

MOSIC와 같은 靜電氣에 銳敏한 디바이스를 靜電氣로부터 保護하는 包裝材料가 多數開發되어 運搬箱子등과 같은 것이 디바이스의 輸送에 使用되고 있다.

包裝材料的 靜電氣保護特性으로서 重要한 것은 材料의 電氣抵抗으로서 抵抗이 낮은 정도의 電氣에 대하여 保護效果가 큰데 詳細히 記述하면 다음과 같다.

첫째, 摩擦電氣에 의하여 發生되는 電荷의 損傷에서 디바이스를 保護하는 能力과, 둘째로는 外部로부터 靜電荷에 대한 디바이스를 遮蔽하는 能力의 2個要素가 包裝材料로서의 可否를 決定하는 것이다.

패케이지材料로서는 基本的인 4가지形의 材料 즉 軍規格의 MIL-B-81705形1, 타입2低抵抗率카아본含浸플라ستيك膜과 金屬化積層膜 등이 있다.

타입 1材料는 폴리에틸렌膜上에 알루미늄箔을 입힌 不透明한 積層膜으로 優秀한 靜電遮蔽特性을 갖고있으나 膜內側의 黑色과 熱遮蔽表面은 表面抵抗率이  $10^6\Omega/\text{sq}$  以上の 絶緣體로서 靜電氣를 消散할 수 없으며 디바이스와 內表面이 接觸되면 容易하게 靜電氣가 發生하는 缺點이 있다.

타입2材料는 폴리에틸렌과 非靜電有機化合物로 되어 있어 非靜電化合物을 폴리에틸렌 膜中에 分散시키든가 膜表面에 被覆시키는 構造이나 이러한 形態의 패케이지는 外部靜電界에 대하여 디바이스를 效果의으로 保護할 수 없다.

카아본含浸플라ستيك膜은 플라ستيك膜全體가  $3000\Omega\text{-cm}$ 의 低抵抗率을 갖는 電導性의 良好한 膜이다. 金屬化遮蔽積層膜은 外表面이 靜電遮蔽를 形成하는 金屬化層으로서 內表面이 摩擦電荷의 發生을 防止하는 非靜電膜 등에 대하여 타입1과 타입2의 長點을 組合시킨 것으로서 內側非靜電膜의 抵抗率은  $10^{13}\Omega/\text{sq}$ 이다.

美國의 3社에서는 이들 4種類의 材料로서 만든 保護패케이지에 디바이스를 넣고 이 패케이지를 發泡材로서 써서 振動으로서 디바이스의 出荷擬似試驗을 行하였으나 카아본含浸플라ستيك膜과 金屬化積層膜으로 만든 保護패케이지가 摩擦電荷의 發生이 적고 振動에 의해서 發生된 發泡材의 電荷에 대해서도 充分한 遮蔽效果를 주었다.

그러나 타입1의 材料로서 만든 保護패케이지는 MOS 디바이스와 패케이지內面의 摩擦에 의해서 發生된 電荷 때문에 90%의 디바이스가 損傷을 받았으며 또한 타입2의 材料로서 만든 保護패케이지는 荷電된 發泡材의 電壓(3-8KV)으로서 90%의 디바이스가 損傷을 받았다.

試驗에 의하면 電導性이 良好한 膜이나 非靜電膜은 摩擦로서 發生된 電荷를 制御할 수 있으며 膜抵抗率과 摩擦電荷發生의 處理能力에는 相關關係가 있다.

또한 表面抵抗率  $10^{13}\Omega/\text{sq}$  또는 以下の 非靜電膜은 摩擦電荷發生을 阻止할 수 있으며  $10^{14}\Omega\text{-cm}$  정도의 高抵抗率을 갖는 體積電導材料에도 電荷를 迅速히 分

散시킬 수 있다. 그리고 摩擦發生電荷에 의한 損傷도 防止할 수 있다.

體積電導材料의 遮蔽效果는  $10^2\sim 10^6\Omega\text{-cm}$ 의 抵抗率範圍에서 크게 變化되며 300에서  $5,600\Omega\text{-cm}$ 로 膜抵抗을 向上시키면 靜電荷에 의한 펄스電壓振幅은 20%로 크게 된다. 이 結果 펄스幅은 30倍정도가 되는데 이것만으로도 外部로부터 電荷에 의한 損傷을 받기 쉽다. (Electronics 53, 16'80)

表 2. 패케이지 필름의 試驗方法

Packaging films	Number of damaged devices after shipment test	
	3N157 (10 tested)	SM110CJ (5 tested)
MIL-B-81705 Type I	9	4
MIL-B-81705 Type II	9	4
Metalized film laminate	0	0
Carbon-loaded film	0	0

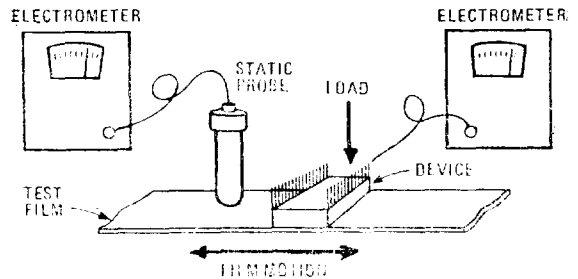


그림 4. 摩擦電氣試驗機器

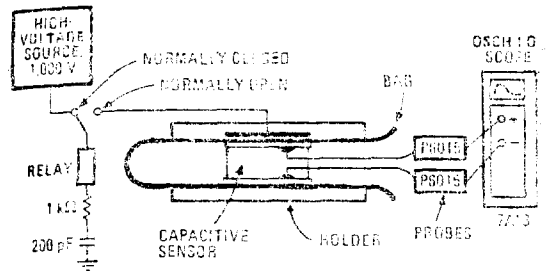


그림 5. 各種 保護箱子의 遮蔽能力試驗裝置

表 3. 商用 保護箱子의 펄스特性比較

Bag material	Resistivity	Pulse amplitude (V)
MIL-B-81705 Type II	$1 \times 10^{13} \Omega/\text{sq}$	450
Carbon-loaded plastic	$3 \times 10^2 \Omega\text{-cm}$	310
Carbon-loaded plastic	$5.6 \times 10^2 \Omega\text{-cm}$	500
Metalized film laminate(metalized side)	$1 \times 10^2 \Omega/\text{sq}$	15

石炭가스화의 데이터는 有望성을 示唆

美國에 너저지방과 가스연구소가 後援하고 Lawrence Livermore연구소가 행하고 있는 地下에서의 石炭 가스화의 實用化研究가 東北 Wyoming의 Hoe그룹 No. 3實驗에서 完了되어 現在 Wildcat그룹의 Deep-1實驗과 더불어 展開되고 있다.

Hoe그룹의 No. 3實驗에서 얻은 結果와 問題點은 다음과 같다.

(1) 消費된 石炭은 4,200t이며 燃燒를 위하여 空氣와 水蒸氣/酸素注入法을 使用하고 있다. 가스의 平均成分은 水素 35%, 메탄 5%, 一酸化炭素 11%, 二酸化炭素 44%로서 平均燃燒熱効率は 65%이다.

(2) 地下石炭層의 燒失에 의하여 上層이 陷沒한 後地盤沈下가 일어나는데 地盤沈下는 燃燒終結 後 最初는 注入口의 近傍에서 일어나 防止策이 檢討되고 있다.

(3) 陷沒과 더불어 水蒸氣가 發生하며 燃燒帶上部의 地下水脈에 相當한 異常이 觀測되었다.

(4) 燃燒後 地下水의 成分은 燃燒가스中에 包含된  $CO_2$ 에 의하여 酸化되며 칼슘이나 마그네슘이온 濃度가 增加된다.

以上과 같은 結果를 根據로 하여 第2段階의 實驗으로서 Deep-1計劃을 實施하고 있는데 本計劃은 595ft 以上の 깊은 石炭層의 燃燒實驗과 燃燒에 따르는 地盤陷沒을 防止하도록 注入口와 採取口의 設計를 主眼으로 하여 實用性を 考慮하고 있다.

以外에 注入筒과 採取筒을 同心圓筒狀으로 하는 單井戶方式이 提議되고 있다.

(Chemical Engineering Necos 58, 29'80)

原子力發電의 將來性

原子力發電은 地球上에서 어떠한 役割을 할 것인가 하는 것이 過去 몇年間 先進西歐諸國의 政府가 原子力의 將來와 産業에 관한 政治的 諸問題에 대하여 疑惑을 갖고있다.

原子力發電플랜트는 매우 廣範圍하게 建設되어 있으나 美國 스리마일島의 事故後 美國原子力安全規制委員會에서는 現在建設이거나 稼動의 認可도 保留하고 있는 實情이다.

英國에서도 原子力發電에 대하여 가스 冷却形플랜트의 安全性를 樂觀하고 前期의 10年間은 運轉을 行하였으나 後期 20年間은 沈滯期間이 繼續되었으며 原子力發電의 將來에 대하여는 原子力의 効用과 더불어 再檢

討의 時機가 되었다.

따라서 政府나 公共機關의 原子爐形式의 選定에서는 建設會社의 能力과 工事に 適合한 가를 繼續檢討하였다.

또한 原子力發電에 관한 現在의 認識은 最近産業界의 實績으로 推測하여 前期는 充分히 原子力이 歡迎을 받았으나 原子力發電은 技術的, 革新的인 産業이므로 産業界自身の 問題로 남아 있게 되었다. 특히 스리마일島 發電所의 事故를 契機로 하여 가스改良冷却形 플랜트의 設計基準에 관한 再檢討의 必要性에 迫頭하고 있다.

이와같이 原子力發電의 將來는 樂觀視나 失望할 어느 편도아니나 遠視的인 見地에서도 에너지 특히 石油問題에 關連하여 檢討해야 될 것이다.

1955年 英國政府의 白書는 12基의 原子力發電所에 관한 報告를 그리고 OECD의 H. Hartley氏는 1957年에 石油의 OPEC價格에 關心을 보였다.

以上과 같은 狀況下에서 將次 原子力 發電의 問題는 高速增殖爐의 稼動長壽命의 核燃料廢棄物處理問題와 플루토늄의 增殖 및 危險性에 관한 問題등이다.

(Nature 285, 576'80)

核融合에 있어서 重要部品の 開發에 成功

美國 California大學 Cowrence Berkely研究所의 科學者들은 最近 核融合爐의 重要部品이 되는 中性비임 入射器의 試驗에 成功하였다.

本 시스템은 princeton plasma物理研究所에서 建設中인 TETR (Tokamak Fusion Test Reactor) 裝置에 使用될 豫定이다.

또한 ODE의 核融合擔當次長인 E.E. Kintner氏는 TFTR뿐만이 아니라 今後 使用될 豫定인 General Atomics社의 Doublet III와 Lawrence Livermore研究所의 MFTF(Mirror Fusion Test Facility)에도 利用할 수 있다고 贊하고 있다.

本 시스템은 4年間의 歲月이 걸려서 Berkeley研究所와 Lawrence Livermore研究所와의 共同研究인데 約 1,300萬弗의 經費가 所要되었으며 統括은 Berkeley研究所의 技術적어비스部門의 部長인 W.D. Hartsough로서 中性비임源系는 Berkeley에서 그리고 비임라인系는 Livermore에서 各各 開發하였다.

princeton에서 建設中인 TFTR은 토가마크形으로서 도너즈狀의 플라즈마中에 電流를 흘려서 加熱하는 裝置이다. 電流단으로는 2,000~3,000萬 °C뿐만 아니라 核融合反應에 必要한 1億°C에 到達하지 못하므로 中

性能이 우수하고 같은 追加熱이 必要함을 알 수 있다.

今番開發된 시스템은 120Kev, 7Mw, 0.5S펄스의 성능을 갖추며 또한 1.5S펄스가 되도록 改良을 加한 것이다. 以外에 本 시스템은 이온源에 單-필라멘트放電을 使用하고 電極은 臺形狀의 슬리트로 한 것이며 넓은 斷面에 걸쳐서 同一한 電流密度를 갖는 構造로 되어있다.

그리고 TFTR에 이것을 4臺使用할 豫定으로서 McDonnell-Douglas社가 3社中 어느社가 DOE와 契約를 締結하여 製造할 것이다. (Electrical World 193, 8' 80)

### 熱電氣海洋熱 에너지變換시스템

海洋熱에너지變換(OTEC)시스템은 암모니아와 같은 動作流體를 低溫海水로서 凝縮하여 高溫海水로서 蒸發시키고 한편 作業流體로서 發電機를 驅動하는 터빈 回轉形 密閉式 사이클의 設計이다.

美國에너지省內 太陽에너지研究所의 科學者들은 作業流體를 使用하지 않는 電氣 OTEC시스템을 研究하고 있다.

本 熱電氣 OTEC시스템은 從來의 OTEC시스템에서 必要로 하는 蒸發器나 凝縮器 및 터보發電機代身 熱電氣發電機와 一體화된 熱交換器로서 構成되어있다.

各 熱電氣發電裝置는 並列로 結合된 同一의 熱電氣素子로서 構成되어있으나 單極形 半導體(n形, p形中 어느한가지로 된것)만을 必要로 하고 있다.

熱電氣素子는 大電流와 低電壓電力을 發生시키기 위하여 直列로 接續되며 直流電力을 交流電力로 變換하기 위하여 슬리드스테인버터틀 使用하고 있다

한편 熱電氣裝置에 必要로하는 비스머스와 텔루륨은 鉛, 金 및 銅精鍊의 副産物로서 容易하게 얻을 수 있으므로 材料의 不足은 熱電氣OTEC시스템開發에 影響을 주지 않고 있다.

經費面에서도 熱電氣OTEC시스템은 有利한데 大部分의 서브시스템(熱電氣發電機와 一體화된 熱交換器 및 海水펌프)은 大量生産物로서 運轉經費도 從來의 OTEC시스템보다 低廉하게 推測되고 있다. 더욱이 熱電氣發電機와 一體화된 熱交換器는 터보發電機보다 保全이 容易하다.

本 熱電氣시스템의 資本經費는 1980年度의 달러價格으로 換算하면 KW當 2,620弗로 推定되나 OTEC시스템에서는 KW當 約 2,659弗로 接近하고 있다.

<Design Engineering 51, 6 '80>

### 印刷配線板, 하이브리드회로보다도 성능이 우수한 磁器에나멜塗布스틸板

從來 에나멜系의 印刷配線板이 많이 使用되고있으나 今後에는 磁器에나멜塗布스틸基板(PSS板)도 많이 使用될 展望이다.

PSS板의 두께는 18~22미치 정도인 低炭素鋼板에 구멍을 내고 컷트등의 加工을 한後 0.005~0.01 in 정도인 磁器에나멜을 塗布한 것으로서 回路의 構成素子를 보면 導體와 抵抗體 및 誘電體등의 잉크, 또는 페이스트를 板위에 燒附한 回路形式을 取하고 있다.

從來의 印刷配線유닛 또는 하이브리드 回路와 比較하면 熱放散과 價格 및 強度등이 優秀하다. 例를 들면 PSS板에 파워트랜지스터의 附着이 可能하며 또한 PSS板에 直接 裝着하므로서 熱放散이 容易하게 되며 機械的 構成도 簡單히 할 수 있다.

그리고 하이브리드회로에 있어서 알루미늄등의 基板은 1x1 in以上 칩수의 것은 機械的으로 弱하기 때문에 振動과 衝擊에 注意할 必要가 있으나 PSS板인 경우에는 스틸板에 의해서 強度가 維持되므로 12x18 in程度의 크기 까지 製作할 수 있다.

價格面에서는 量産할 경우 에폭시印刷配線에 比較해서 PSS板은 2/3정도가 되며 하이브리드회로와 比較할 경우 1x1 in알루미늄基板에 比하여 PSS板은 1/3이하가 되고 있다.

現在 PSS板의 性能에는 若干의 問題가 있다. 例를 들면 絶緣物로서 磁器에나멜의 特性이 問題가 되며 PSS表面에 본딩된 半導體칩을 통해서 漏洩電流가 흘러 惡影響을 미친다. 이것을 回避하기 위하여 漏洩電流를 10<sup>-13</sup>A以下로 하는 에나멜을 開發中에 있다.

PSS板의 用途로서는 使用條件이 嚴하기 때문에 量産化에 의한 低價格化를 目標로 하고 있으며 美國 polaroid社에서는 카메라 Sx-70에 使用하고 있다.

한편 캐나다의 Northern Telecom社에서는 電子式 電話機의 키이보오드어셈블리로서 75%의 코스트다운이 期待되고 있으며 將來에는 PSS板의 市場으로서 自動車, 通信機器 및 民生機器 등이 有望視되고 있다.

PSS開發初期에는 導體, 抵抗體, 誘電體 등의 잉크 또는 페이스트의 燒附溫度가 磁氣에나멜의 熔融溫度보다 높아 平衡을 取하고있었다. 從來 알루미늄 또는 세라믹 基板에 燒附하여 使用된 잉크와 페이스트의 燒附溫度는 磁氣에나멜의 熔融溫度보다 約 200°C가 높았다. (EDN 25, 12 '80)

外 國 論 文 紹 介

**Quasi-static Analysis of Generalized SAW Transducers using the Green's Function Method**

(David P. Morgan; IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics VOL ST-27, No. 3. MAY 1980)

**Abstract**

Surface-wave interdigital transducers can be analyzed rigorously by using a Green's Function Method, through extensive numerical analysis is necessary to evaluate the various transducer properties. It is shown here that simple analytic relationships can be derived from the Green's Function Theory if bulk wave excitation and electrode interactions are assumed to be negligible. Solutions are obtained for the amplitude of launched surface waves, the transducer conductance and susceptance and reflection, transmission and conversion coefficients. All of these quantities are related in a direct way to the electrostatic charge density on the transducer, and the theory takes account of electrostatic effects. The theory is valid for almost arbitrary transducer geometries. A reciprocity relation is shown to be valid even when electrode interactions are included.

Surface Acoustic Wave(SAW) interdigital transducer의 동작은 복잡한 정전계 효과, 여러 종류의 acoustic mode 및 SAW가 transducer 밑을 지나갈 때 생기는 electrode interaction등에 의하여 복잡한 양상을 지닌다. 더욱이 여기된 파동의 진폭, transducer admittance와 transducer에 입사하는 acoustic

wave의 변환, 반사, 통과율을 구하기 위한 scattering parameter등 transducer를 분석하기 위하여 요구되는 여러 변들은 복잡성을 더 증가시킨다. 이러한 문제의 복잡성은 transducer 해석을 위하여 대개 문제를 간략화시키는 가정을 포함한 여러가지 이론적 방법을 제기하였다. Transducer에 의해 여기되는 acoustic mode는 Nonleaky surface wave이고, electrode interaction은 무시할 수 있다는 것이다. 이러한 가정들은 주기적으로 배열된 Bulk wave transducer의 해석으로부터 SAW transducer의 해석을 유도한 Smith가 사용하였고, 이 방법은 transducer admittance, scattering parameter등 모든 정보를 제공하였다. Tancrell과 Holland의 Delta function model은 한정된 정보를 주었고, Hartmann의 impulse model은 이것을 확장하여 transducer admittance를 계산해 냈다. 그러나 이 방법들은 정전계 효과를 정확하게 고려하지 않았다. 이 효과는 transducer의 harmonic response withdrawal weighted transducer, 임의의 polarity sequence를 가진 transducer, 또 transducer end effect등을 해석하기 위하여 정확하게 model 되어져야 한다.

주기적인 single-electrode transducer의 정전계해는 Ergon에 의하여 발견되었고 이 정전계해 자신은 transducer에 의하여 여기되는 SAW의 진폭에 대한 解만을 준다. 그래서 Smith와 Peddler는 정전계해에 바탕을 둔 Network방법을 개발하였다.

그후, Anld와 Kino는 Normal mode theory를 이용하여 얻은 transducer conductance와 정전계해와의 연관관계를 설명하였고, Wager는 이 Normal mode theory를 이용하여 더 일반적인 transducer 구조에 대한 admittance를 구했다.

Milsom의 Green's function method는 위의 방법들보다 더 일반적이며, 정전계효과, electrode interaction, transducer 의해 여기되는 여러 acoustic mode들에 대하여 설명할 수 있고, transducer의 여기 및 검파에 대한 모든 정보를 준다. 그러나 이 방법은 복잡하고, 시간을 많이 소비하는 수치해석절차를 포함하기 때문에, 사용하기가 불편하다. 그래서 이 논문에서는 Bulk wave 여기가 무시될 수 있고 Surface wave가 Nonleaky인 경우, 즉 실제로 보통 사용되는 조건하에서 Milsom의 Green's function method가

어떻게 적용될 수 있는가를 고려하였다. 그렇게 함으로써 Green's function theory는 간단한 해석적인 해(analytic solution)를 주는 동시에 전체적인 이론의 복잡성을 감감시켜 준다.

한편 Milsom의 논문에서 유도된 관계식을 사용하여 여기된 SAW의 진폭, transducer admittance, SAW 검파에 대한 Scattering coefficient들이 간단한 정전계해로 표시할 수 있다. 그리고 여기서 사용된 방법은 완전한 Green's function Method가 아닌 근사방법이므로 다음 단계로 정확한 이론적 바탕위에 해석함으로써 transducer동작에 대한 물리적 의미를 부여하였다.

여기서 사용된 정전계해는 전극위에 분포된 전하밀도  $\sigma_s(x)$ 의 함수로 표시되었으며, 이것의 잇결은 transducer 캐패시티가 전하밀도로 쉽게 표시될 수 있고, 또한 transducer에 의해 여기되는 SAW 진폭이 전하밀도의 Fourier transform으로 표시될 수 있다. 다만 transducer의 acoustic susceptance  $B_s(\omega)$ 는 주파수의 함수인데, Quasi-static theory에서 전하밀도  $\sigma(x, \omega)$ 를  $\sigma_s(x)$ 로 근사함으로써 정확한 값을 구할 수 없으므로 SAW에 의한 Green's function  $G_{SAW}(\omega)$ 를 고려한 Higher order analysis에 의하여 구하였다.

이 논문에서 고려한 transducer구조는 전극간의 overlapping이 변조되지 않은 two-bar구조이고, 위 이론들은 transducer의 전극이 bus-bar에 연결되지 않은 경우에도 확장될 수 있다는 것을 보였다.

retical and experimental results are presented on the dependence of the correlation output on the duration of the acoustic, write, and read signals. The dependence of the output on the amplitudes of the acoustic, write, and read signals is also given. The theoretical predictions are in good agreement with the experimental results in all of these cases. Suggestions are provided for the design of improved monolithic storage correlators.

Diod storage correlator는 처음에 Li Nb O<sub>3</sub> delay line위에 Si substrate(diode array)를 수천 A°의 Airgap을 유지하여 장착함으로써 만들었다. 이러한 Separated medium type 구조의 Airgap Correlator는 spurious bulk-wave generation, 균일한 air-gap의 유지, 그리고 신호를 저장하고 저장된 신호를 읽어 내는데 큰 진폭의 신호를 요구하는등 여러 문제점을 내포하고 있다. 이러한 문제점을 배제하기 위하여 Stanford 대학의 Kino group은 Zn O-on Si 구조에 존재하는 first-order Rayleigh mode (SAW)를 사용한 monolithic 형태의 storage correlator를 개발하였다. 이것은 위에서 말한 Air-gap correlator의 문제점들을 해결해 주었으나 단점으로는 Airgap correlator에 비하여 좁은 주파수대역폭의 신호만을 처리할 수 있다는 것이다. 넓은 대역폭의 신호를 처리할 수 있는 monolithic device도 Second Rayleigh mode를 사용하여 만들 수 있으나 여기서는 First Rayleigh mode를 사용한 monolithic storage correlator에 대한 이론을 전개하였다. 그리고 이 이론적 결과는 Adaptive correlator의 중요한 parameter들인 acoustic signal duration과 진폭, write signal duration과 진폭, read signal duration과 진폭등에 의한 correlator output의 의존성에 대한 Data와 비교되었다. Correlator에서 신호를 저장시키는 동작 원리는 여러가지가 있으나 여기서는 정상 Correlation 동작원리, 즉 저장하려는 입력 음향신호(SAW)와 Zn O Film위와 Si위에 증착된 metal plate에 공급하는 writing신호 pulse 길이를 metal plate duration(Top. plate를 SAW가 통과하는 시간)과 같은 정도로 하는 경우와 입력 Correlation mode 즉 음향신호로 변환된 입력신호의 pulse길이와 metal plate에 공급하는 writing pulse의 길이를 Si 위에 배열된 P-N Diode의 storage time(보통 수백 msecond) 정도로 취하는 두 경우에 대한 결과들이 주어졌다. 또한 여기서는 두 Square pulse 신호의 Correlation만 고려되었으나 Frequency chirp이나 phase-

## Theoretical and Experimental Results for Monolithic SAW Memory Correlators

(H.C. Tuan, J.E. Bowers, G.S. Kino; IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics, VOL. SU-27, No. 6. NOV. 1980)

### Abstract

A detailed theory is presented for the writing and reading processes in the monolithic surface acoustic wave (SAW) storage correlator. Theo-

shift key 신호들을 사용하는 Spread Spectrum 응용 분야에서는 Compression Gain(Processing Gain)만을 더 고려해 주면 된다.

이론은 n-type substrate에 p-type diffusion한 diode에 대하여 전개되었고, 이 이론은 Borden과 Kino

가 Separated medium type(air-gap) Correlator에 적용한 것과 거의 같다. Schottky diode 경우의 이론적 결과도 주어졌으나 이론에서의 가정이 fast-charging(Storaging)에 대하여서는 잘 일치하지 않는다. (延世大 工大 電氣工學科 教授 黃金燦 譯)

### 會 員 動 靜

馬亨曉(前會長：終身評議員)氏는 서울大學校 名譽教授로 된

金正洙氏는 弘益工專大에서 弘益工大로 옮김

朴俊瀨氏는 韓國電氣通信研究所에서 忠南大學校로 옮김

車廣錫氏는 스테크에서 서울地下鐵建設(株) 옮김

許南圭氏는 스테크에서 大林産業으로 옮김

李圭喆氏는 延世大에서 蔚山工大로 옮김

劉錫九氏는 蔚山工大에서 漢陽大工大(半月分校)

로 옮김

尹亨重·羅基煥氏는 工業振興廳 標準局 電氣標準課에서 品質管理局 機電管理課로 옮김

李在淑(코오롱 綜合電機 專務理事)氏는 技術業務次 英國訪問後 귀국

鄭在吉氏는 西獨에서 研修후 귀국

韓國電力(株)(社長 金榮俊)은 本社 社屋을 여의도에서 강남구 청담동 산2(韓重빌딩)으로 이전

### 原 稿 募 集

아래와 같이 會員여러분의 玉稿를 기다립니다.

技術資料, 技術展望, 技術解說, 技術報告, 技術情報, 製品紹介, 現場經驗談, 海外旅行記 등 많은 投稿 있으시기 바랍니다.

아 래

內 容：論文, 技術解說, 技術展望, 技術情報, 技術資料, 技術報告, 講座, 現場經驗談, 製品紹介, 國內外動靜, 國內外旅行記, 會員消息 等

要 領：200字 原稿用紙 30枚~50枚 內外

마 감：隨時接受(但 論文은 期日前이라도 接受順에 따름)

送付處：大韓電氣學會(編修委員會) 서울特別市 中區 水標洞 11-4 電氣會館 306號  
260-2253, 267-0213

參 考：① 原稿 投稿時는 會誌投稿規程에 따를 것

② 論文提出時는 國文要旨도 꼭 提出하시되 本文中의 圖面은 바로 印刷에 들어갈 수 있도록 먹으로 깨끗이 그리시어 提出하시기 바람

③ 그림의 說明文句들은 축소할 경우를 고려하여 글자를 삼입하시기 바람