

Thick Film Hybrid Microcircuit에 關하여

民星電子工業株式會社 技 術 部

1. 序 論

最近에 들어 成長의 本軌道에 들어서게된 우리나라의 여러 電子企業體들은 本 超小型電子回路의 製造開發에 상당한 關心을 쏟고 있다 하겠다.

昨年 8月 本會誌 및 전자조합회지 5卷等을 통하여 Hybrid IC에 關한 特輯이 紹介된바 있어 本 小考에서는, 우리나라에 最初로 着手된 Thick-Film Hybrid Microcircuit 製造業體인 弊社技術部の 삶은 經驗과 아울러 一般的인 製造上の 諸問題의 紹介 및 그 實例를 略述함으로써 本技術에 關心을 가진 분 들에게 조금이라도 도움이 되고자 합니다.

1. 材料

가. 1.1 基板(Substrate)

基板材料는 Thick-Film Microcircuit에 있어서 매우 重要視 되고 있다. 만일 팽창 계수가 抵抗材料와 다른 基板을 使用할 경우 아무리 基板 自體가 平탄하고 유연하다 할지라도 그 結果는 基板에 따라 抵抗素의 溫係數나 單位面積當 抵抗值 혹은 그 安定度 및 接着, 特性 까지로 예상 외로 달라지게 된다.

그만큼 基板材料는 엄선 되어야 하는데 活用이 可能的한 基板材料로써는 高純度の 산화 알루미늄, 티탄산마리움, 스테아타이트, 포스핀, 베리리아 및 보론 질화물 등이 포함된다. 그러나 一般的으로 널리 쓰이고 있는 材料로써는 알루미늄이 환영 받고 있는데 이는 경제적 이면서도 熱傳導性이 좋고 有用성이 높을 뿐만 아니라 熱팽창계수의 調節이 무엇보다도 容易하다는 長點을 갖고 있다. 最近에 알려진 베리리아 基板

은 熱傳導가 優秀하기 때문에 主로 電力用 回路에 쓰이고 있다.

나. 導電素子(Conductor)

主로 導電材料로서는 Ag, Au, platinum-Au palladium-Au 혹은 palladium-Ag 등의 복합물을 使用하고 있다.

이중에서는 Ag가 가장 經濟的이면서도 납땀에 매우 有利하며 또한 基板에의 密着에 優秀하다 그밖에도 Ag는 抵抗素體와 같이 同時燒成이 可能하다는 利點을 갖고 있다.

그러나 濕度가 높은 곳에서는 Ag ion의 Migration이 그치지 않을 可能性이 있기 때문에 一般的으로 Ag接點을 환영하지 않게 된다.

그리하여 Pt-Au가 널리 愛用되고 있는데 適當한 燒成時間과 溫度만 유지 시켜주면 基板과의 接着力을 1,000 PSI以上 얻을수 있으며 그밖에도 역시 鑲에 좋은 成果를 얻을수 있다.

一般的으로 Au 導電素子는 基板에 直接 Silicon device를 eutectic이나 ultrasonic 熔接할 必要가 있는 경우에는 매우 有用하다.

다음의 palladium-gold나 palladium-silver 등도 비교적 Pt-Au에 比하여 經濟的이므로 關心의 對象이 되고 있다.

다. 抵抗素子(Resistor)

최근에 들어 급속히 開發實用되고 있는 많은 Thick-Film Micro-Circuit 材料들 中에서도 特別히 抵抗素子の 개발은 T, F. M. C. 自體의 應用의 폭을 넓이는데 크게 貢獻하고 있다.

요즘 널리 活用되고 있는 저재료는 palladium 산화 palladium, Ag 및 硝子류와 약간의 有機物 質들의 混合物인데 이것이 基板에 印刷되고 大氣中에서 780°C 程度로 燒成되며는 그中 有機物 質은 자연 증발 되어버리고 palladium系가 산 화한다.

一般的으로 單位面積 및 抵抗值 및 소성온도가 주어지게 되면 palladium이 산화되는 과정은 아 래와 같다.

$Pd + Ag + \text{硝子類} \xrightarrow{780^\circ\text{C}} PdAg + PdO + Pd + \text{硝子類}$ 특히 抵抗素子 材料에 포함되어 있는 硝子 成分을 혼합과정 이나 소성과정에서 適切히 처 리 함으로써 所期의 抵抗 材料를 얻을수 있다.

一般的으로 大概의 面積抵抗은 높은 金屬對 금속비율과 높은 硝子류를 포함하면은 正의 溫度 係數를 갖게되고 낮은 金屬對 산화물 비율과 낮은 硝子류를 포함하면은 負의 溫度 係數를 갖 게 되는 基本 原則內에서 加工處理 되고 있다.

燒成溫度에 따르는 抵抗關係式은 다음과 같다

$$\rho = T A e \left(-\frac{2}{KT} \right)$$

여기서 A는 常數, K는 Boltzman 係數 T는 燒成 Kelvin 溫度, 2는 Activation 에너지 이 다. 여기에서 또한 2는 燒成溫度에 따르는 變數 이므로 有效한 加工處理를 爲해서는 적절한 燒成 溫度 및 소성時間이 重要해지는 것이다. 이러한 點을 감안할때 palladium를 기본으로 하는 저항 물질이 經濟的 이면서도 優秀한 回路特性을 갖 기 때문에 오늘날 널리 有用되고 있다.

그 밖에서도 基本材料로써 카본, 베니움, 타 리움 및 인디움 등이 쓰이고 있으나 아무래도 貴 金屬系가 환영 받고있다.

이러한 귀금속계의 長點이라하는 普通의 大氣 中에서로 소성이 可能하다는 점과 후막회로의 마스막 工程까지에서 必要되는 高溫 即 能動部 品の 조립이나 最終제품으로 써의 密封時의 취 급 溫度에서도 매기 安定하다는 것이라 하겠다.

라. 1-4. 蓄電素子(Capacitor)

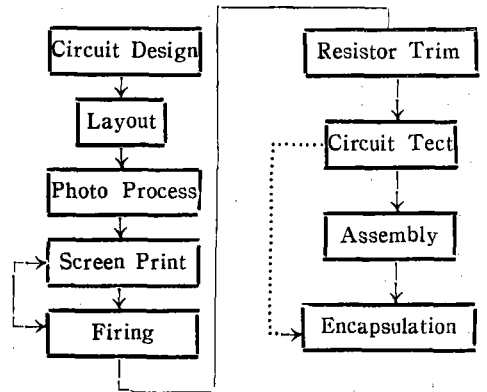
一般的인 金屬, 誘電體, 金屬 구조의 蓄電素

子는 프린팅과 燒成技術로써 얻어질수 있는데 비 교적 500pF 가까운 낮은 蓄電容量은 約1,000°C 에서 pt-Au를 燒成하여 Case electrode를 製造 하게 되고 誘電體는 약 800°C에서 또 다른 極은 約 750°C 정도에서 燒成하게 된다. 그런데 이 러한 낮은 蓄電容量이나 Crossover에 쓰이는 誘 電物質로써는 K4~15級的의 硝子が 많이 쓰여지 고 있다.

그러나 아무래도 후막회로의 形成이기 때문에 誘電率이 높은 誘電材料를 使用한다 해서 直接 的으로 높은 蓄電容量을 期待키는 곤란하나 요 즘은 연구실 規模로서는 多重蓄電素子の 造成 이 成功을 보아 크게 진진을 보이고 있으나 아 직도 이 時點에선 이의 實用性이 문제시 되고 있다.

3. 製造工程

후막회로의 製造工程을 계단적으로 圖示하면 아래와 같다.



우선 設計製圖에 따르는 사진 工程을 통하여 마스크를 만들게 되는데 이는 이와 유사한 제품 의 경우와 大同小異하다 할 수 있다.

가. 프린트

여기에서는 Conductor, Resistor Dielectric Material을 基材에 프린트 한다.

이에 어떤 一般의인 特性을 갖은 Paste를 使用케 되는데 이들은 有機物質에 섞인 微粒子 들로 구성 되어있다.

이 Paste들의 粒子重量溜分은 固有의 應集力 과 要求되는 膜의 두께에 따라 대충 50% 부터

80%가 된다.

또 有用한 粘度는 20,000부터 250,000 CPS가 되는데 Conductor Resistor를 爲해서는 높은 粘度가 필요되고 Dielectric를 爲해서는 비교적 낮은 粘度가 쓰인다. 높은 粘度의 Paste를 混合할 경우에는 完全히 均質이 되도록 할 必要가 있다

Paste에 포함 되어 있는 有機物質은 결코 水分이 함유 되어서는 아니되며 스크리닝 과정에서 Squeegee의 運動을 원활히 하는데 도움이 되어야 한다.

즉 中間程度와 가장 좋은데 그렇지 않으면 스크리닝이 분명치 않기 쉽다. 높은 Thixotropic Paste는 잘 溜着하지 않고 스크린 메쉬의 자족 단남길 우려가 있다.

이러한 스크린 印刷를 爲해서 手動式, 半自動式, 自動式, 等 各種 機械가 개발되어 있다. 이들 인쇄기 들은 設置 및 運動方式에 있어선 各自 特質을 갖고 있지만 프린팅 과정 자체는 거의 비슷하다.

스퀴지가 스크린 위를 一定한 속도로 運動하며는 스크린이 눌러서 基板과 맞닿게 되고 마스크를 통하여 Paste가 基板에 인쇄 되는 것이다.

인쇄공정에서 重要한 것은 Paste의 부착은 主體的으로 調整되어야 하기 때문에 실지 生産에 있어서의 經濟성과 均一性을 爲하여서는 스크지의 운동속도와 압력에 대한 조절 및 이의 보수유지가 充分히 가능 하여야 한다는 것이다.

나. 燒成(Firing)

이러한 후 막 回路의 제조를 爲하여서는 큰배야 소성로가 有利하다.

특히 높은 蓄電素子를 製造할때 처럼 높은 소성 溫度가 要求되는 때는 어떤 容器를 利用하여 밀어 넣을 수 있는 型의 소성로가 主로 쓰이고 있다.

특히 R-C 回路를 爲한 인쇄 소성의 연속적인 工程에 있어선 높은 溫度가 要求 되는데 이러한 소성로의 온도양상은 소성 되는 材料에 따라 別途調整되어야 한다. Conductor를 爲한 온도문제는 기본 物質함유율, 복합상태 및 硝子類 물질의 유연성 限界等과 밀접한 含수 관계가 있다

특히 납땀을 해야될 Conductor 인장력 시험 및 표면의 강도 등을 점검해야 한다.

Au Conductor에 對한 조건은 씨리콘질 들과의 부합상태 — 密着된 質을 剪斷應力범위 內에서 베기爲한 힘등을 면밀히 감안하여 決定되어야 한다.

또한 誘電素子에 對한 溫度조건은 誘電특성은 물론 이의 透化程度에 따라 주어져야 한다. 例로써 800°C~900°C 內에서 約 30分 가량 소성이 되어야 하는 誘電素子도 있으며 높은 K物質은 더 높은 소성온도를 요구한다.

저항소자에 對한 소성조건은 要求되는 固有抵抗과 그 밖의 관련되는 性質에 따라 左右되는데 다른 어떤 素子보다도 까다롭다. 요즘 많이 쓰이는 재료중 어떤것은 685°C에서 燒成되고 있다.

이런 材料는 대개 Ag나 Pd금속에 유기물질과 熔融點이 비교적 낮은 硝子類가 포함되는데 이 金屬對硝子類의 배합 比率는 면적저항을 左右하게 된다.

소성 과정에서 有機物質은 산화 되어 증발 되어 버린다.

그러면 金屬들은 부합되고 Pd가 산화 되며 硝子類가 유연해 지므로서 새로운 複合構造를 形成하게 된다.

이러한 合金과 산화 과정은 확산작용을 거치며 接着程度는 상호 粘착력에 의하여 결정되고 또한 硝子類의 粘性強度에 따라서도 左右된다.

Paste의 확산계수와 점유도는 일반적으로 온도의 지수함수 관계이어서 최고 소성 溫度에서의 時時間과 加熱의 漸進率은 저항소자의 면적 저항 長期間의 安定性, 溫度係數 및 잡음특성에 至大한 영향을 미치게 된다.

또한 용해점이 낮은 Glaze는 約 600°C아래에서 소성 되면은 抵抗値의 變化를 일으키지 않는다.

이러한 Glaze는 Conductor의 절연이나 抵抗素子 및 蓄電素子の 保護에 쓰여진다.

다. 精密調整

일단 인쇄 燒成된 抵抗素子는 미분말을 세게 분사 지킴으로써 所期의 抵抗値로 精密調整 된다

압축 공기에 실린 알루미늄 분말로 抵物質을 基板으로 부터 깎아내게 되는데 抵抗物質이 떨어져 나감으로 해서 抵抗値를 增大시키는 것이다.

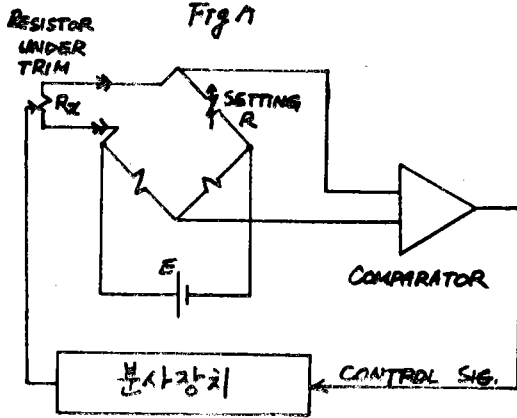


Fig. A-에서와 같이 이러한 精密調整 工程時에는 事前에 셋트된 抵抗値와 調整되는 抵抗値를 比較할수 있게 抵抗브릿지에 依하여 모니터 되게 되는데 일단 調整되며는 브릿지는 평형이 되고 그 信號는 장치로 보내져서 분사를 정지 시키게 된다.

이렇게 얻어지는 抵抗은 대개 ±0.1% 誤差까지 精密해진다.

이와 비슷한 方法으로 蓄電素子도 精密調整될 수 있다. 또한 요즈음 Laser를 利用하여 誘電物質을 손상치 않고도 上部電導線을 깎아 내기도 한다.

라. Encapsulation(密封)

Encapsulation은 基板에 인쇄 燒成된 여러가지 電氣素子들의 特性을 保存시킨다는 觀點에서 볼때 Thick Film Circuit의 Process에서 重要視되고 있다. 즉 이 Encapsulation은 Thick Film을 電氣的 機械的 및 其他 환경 변화로 부터 安定을 유지시켜 주는데 目的이 있다. 특히 最終 Module Encapsulation前에 高純度 高抵抗의 Silicon Resin系로 PRE-Coating한 다음 Cutting하여 Rubber Texture 狀態로 보호膜을 형성시켜 줌으로써 内部的으로 安定을 보장케 하기로 한다.

Encapsulation에 있어선 주로 Plastic이나 Epoxy 樹脂가 쓰이며 때로는 이미 製作된 Molded

Cup이나 標準 Transistor Header가 使用 되기도 한다.

4. Thick-Film Resistor Network 製造의 例와그分析

Fig. 1은 Digital to Analog Converter의 基本 回路의 例이다.

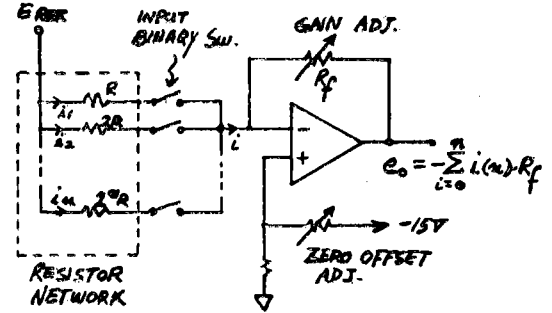


Fig. 1. Digital to Analog Converter

Input Binary Signal에 依하여 흐르는 電流 (i)의 乘은 演算增幅器出力에 -(i × Rf)의 電壓

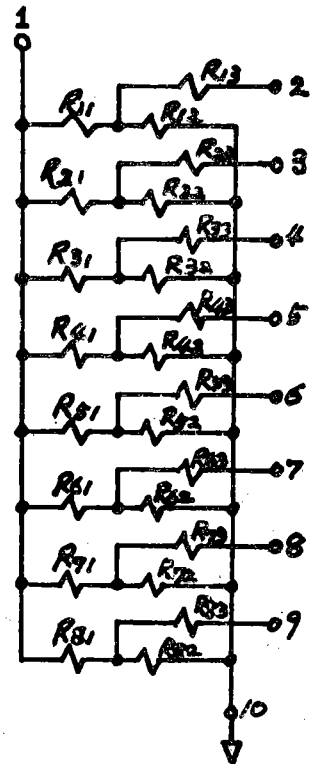


Fig. 2. Voltage Divide R Network

을 發生시킨다.

Reference Voltage Source와 Summing Point 사이에 흐르는 각 Bit의 電流值範圍가 廣大하여 지므로 이에따라 각 Bit의 抵抗值도 範圍가 廣大 해지게 된다.

(例 $R_1=10k\Omega$ 이면 $R_8=2,560k\Omega$)

Fig. 2는 Thick-Film技術을 利用한 Voltage divide Resistor Network로서 이에는 $50\Omega/\text{inch}$ 와 $5k\Omega/\square\text{inch}$ 2種의 抵抗 Paste만 使用함으로써 所期의 等價電流를 얻은 例이다.

Fig. 3는 Thick Film Resistor Network의 Overall Layout Drawing이며 여기기에는 24個의 抵抗素자와 10個의 端子가 있으며 그의 크기는 實크기의 10倍로 擴大設計 되었다.

이 重疊된 Mask pattern은 材料의 種類와 Crossover問題에 따라 5個의 Pattern으로 分離 되었다 (Fig. 4 참조)

이들 各各의 pattern들은 다시 實驗기로 Silk Screen에 옮겨져서 Printing과 Firing이 各各行 해진다.

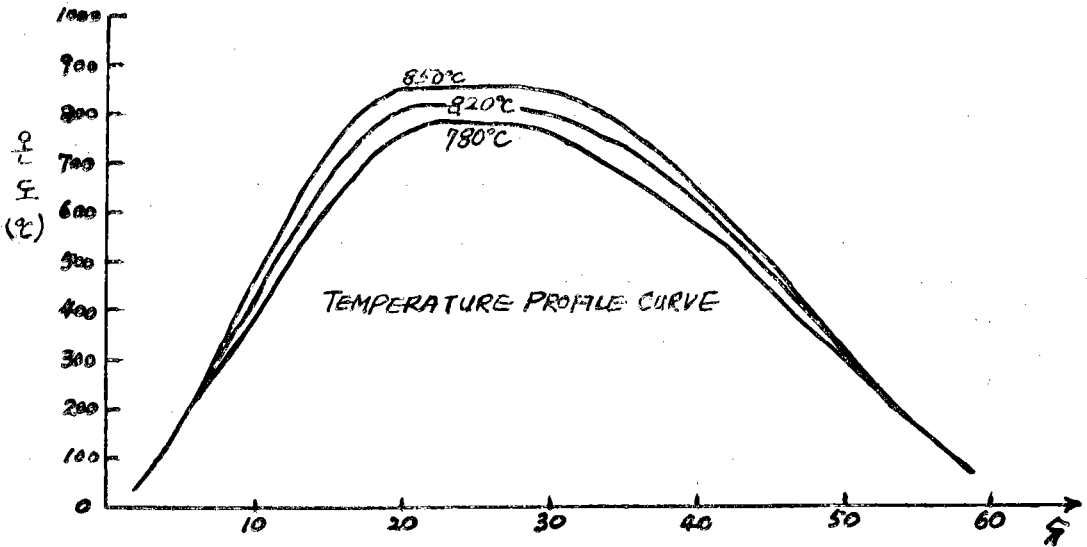


Fig. 5 소성온도 PROFILE

그 순서는

Conductor1→Dry→Dielectric→Conductor2→Firing→ $10k\Omega/\square\text{inch}$ →Dry→ $50\Omega/\square\text{inch}$ →Firing과같이 된다.

가. 燒成溫도와 面積抵抗

우선 燒成溫度Profile를 보면 Fig5와 같다.

抵抗를 1時間 Cycle의 여러 最高燒成溫度에서 燒成하고 보면 그 面積抵抗에의 最高燒成溫度 영향은 Fig. 6와 같다.

Fig. 6에서 보면 높은 面積抵抗 Paste는 最高 燒成溫度가 높아질수록 그 값이 떨어지며 비교적 낮은 面積抵抗 Paste는 같은 경우에도 그 값이 높아지는 경향이 있음을 알수 있으며 또한 $1K\Omega$ 에 가까운 面積抵抗 Paste는 상대적으로 燒

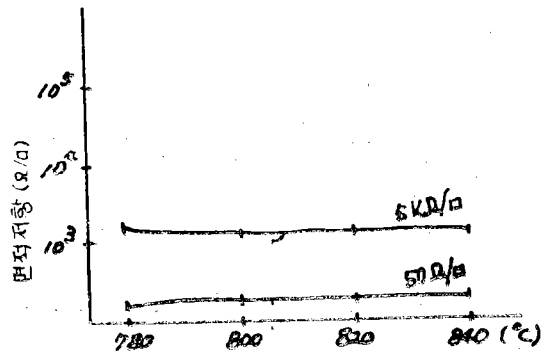


Fig. 6 최고소성 온도

成溫度에 그리 영향을 받지 않음도 알수 있다.

100kΩ以上の面積抗환 Paste는 最高燒成溫度가 높을수록 비교적 그 경사가 완만함도 알수 있다. 반대로 이러한 높은面積抵抗 Paste는 燒成溫度에 對하여 다른것 보다는 敏感하기 때문에 燒成爐間의 Cross-Calibrate에도 利用할 수 있다. 만약 1MΩ가 제값보다 높을 경우에는 비교적 낮은溫度에서 燒成함으로써 어느정도面積抵抗을 맞출수 있다.

나. 抵抗素子の 溫度係(TCR)

Hot-side數의 TCR를 抵抗値別로 나타내보면 Fig. 7과 같다

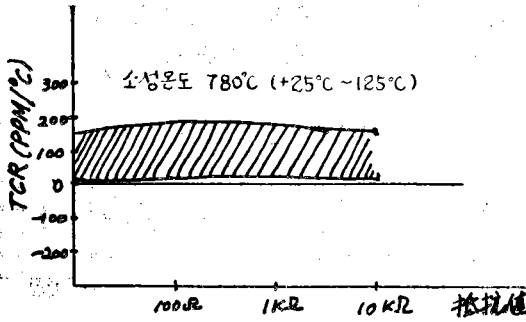


Fig 7

Fig. 7에서 보면 대략 0~+150PPM/°C의 TCR를 나타내고 있는데 一般的으로 Hot-side의 TCR이 975 PPM/°C이면 Cold-side(-55°~+25°C)도 -75PPM/°C에 가깝다. 大概의 경우 燒成溫度가 높아질수록 TCR도 增加되는 경향이 있는데 이를 그림으로 보면 Fig. 8과 같다.

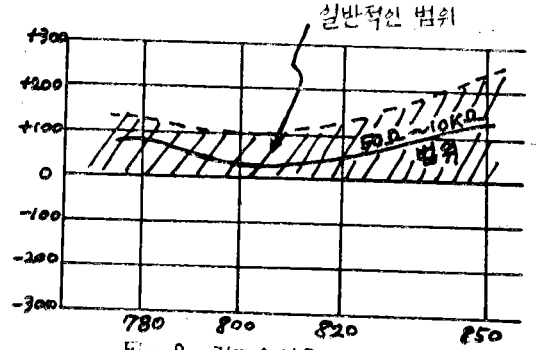


Fig 8 최소소성온도(°C)

또한 10kΩ/□paste의 주위溫度에 따르는 抵抗値의 變化를 보면 Fig. 9과 같다.

Fig. 9에서 보면 850°C Curve가 780°C Curve보다 경경사가 심함을 알 수 있고 Hot-side와 Cold-side와 경사가 크게 차이점을 볼수 있다.

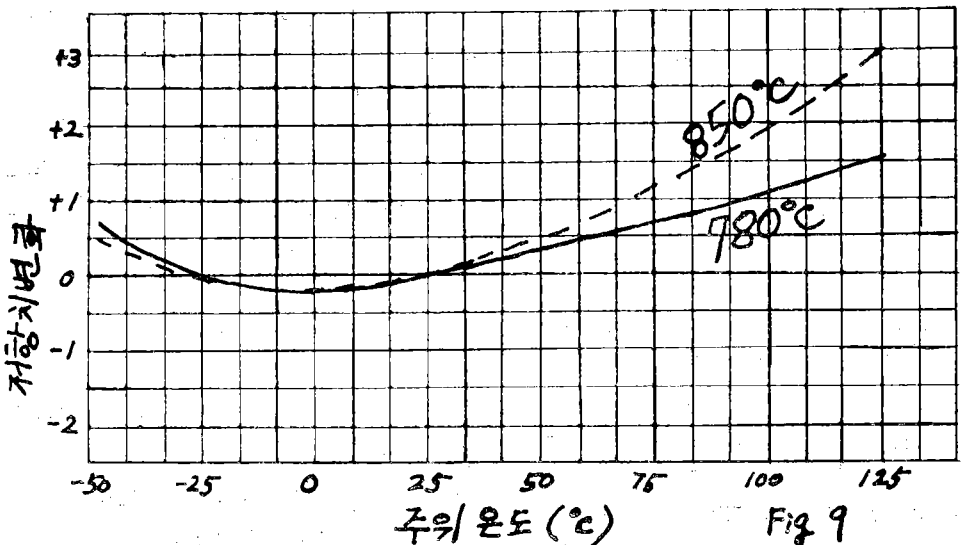


Fig 9

大概의 경우 中間程度의 面積抵抗 Paste는 비교적 큰 燒成溫度變化에서도 面積抵抗 自體는 그리 變移하지 않고 다만 TCR의 Shift만 일어난고 있다.

다. 雜音 및 電壓係數

燒成溫度와 雜音과의 關係를 보면 Fig과 같다.

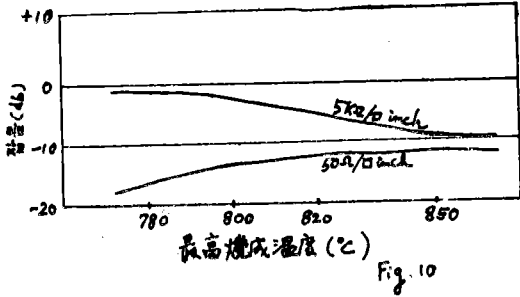


Fig. 10에서 보면 비교적 높은 燒成溫度에서는 本質的으로 雜音 Level이 낮아 진다. 또한 電壓係數를 燒成溫度에 따라 살펴보면 Fig. 11와 같다.

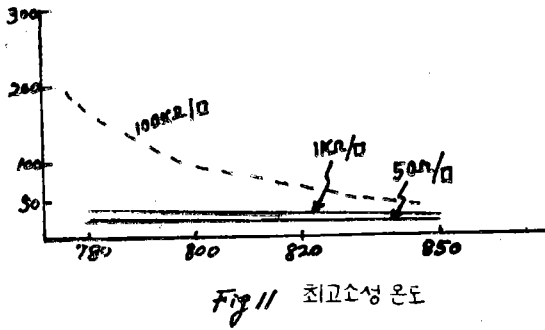


Fig. 11에서 보면 面積抵抗이 1kΩ미만의 Paste는 電壓係數가 燒成溫度에 無關하게 아주 남음을 알수 있다.

一般的으로 雜音은 抵抗系子電流를 爲한 平行 Conductor Path가 많을수록, 적어지며 特別히 높은 抵抗을 爲해서 낮은 面積抵抗 Paste를 使用함으로써 그 抵抗面積을 늘리게 되어 電壓係數

를 낮출수 있다.

라. 動作수명

이 動作試驗은 70°C에서 inch 平方當 20Watts를 抵系子에 걸므로써 點檢하는데 이의 一般의인 경향을 보면 Fig. 12과 같다.

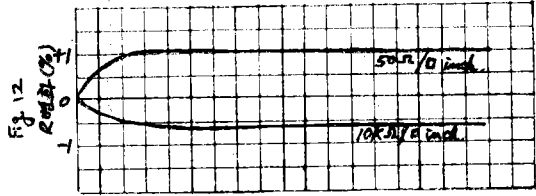


Fig. 11에서 보면 初期 100時間內的 變化以後는 아— 安定됨을 알수 있다.

또한 낮은 面積抵抗은 正의 變化率을 갖고 높은 面積抵抗은 負의 變化率을 갖는다.

燒成溫度에 따르는 수명은 어떠한 가를 보면 Fig. 13과 같다.

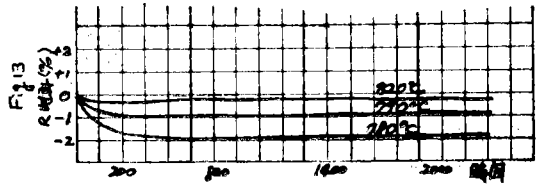
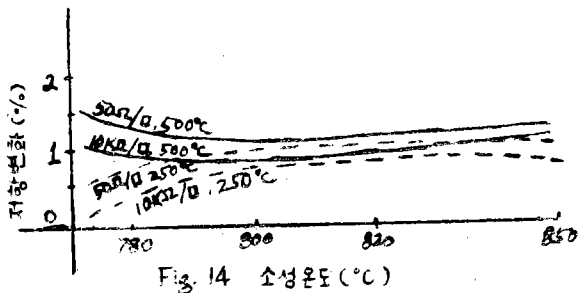


Fig. 13에서 보면 높은 溫度에서 燒成될수록 抵抗值의 絕對變化는 적어짐을 알수 있다.

그리하여 높은 燒成溫度조건은 動作初期 100時間內的 급격한 變化를 줄여주는데 公認하게 된다.

마. 熱에 對한 安定性

아무런 保護가 없는 抵抗素子를 250°C에서 24時間 500°C에서 30分씩 테스트를 해보면 그 燒成溫度에 따르는 抵抗變化는 Fig. 14와 같다



250°C에서의 安定性은 780°C에서 燒成함이 最適이다.

비교적 높은 面積抵抗 Paste는 이熱 Test에는 安定한 便이며 1k Ω /□ Paste는 약1/2%의 變化를 일으킨다.

또한 아무래도 500°C Test에서는 變化가 커진다. 一般적으로 아주 높거나 낮은 面積抵抗 Paste 일수록 熱에 對한 安定性이 좋지않다.

5. 結 論

이러한 複合特質의 溫度係數는 一連의 化學的 및 物理的인 變化에 基因한다.

金屬間的 結合, 硝子類의 擴流, 金屬의 接着, 酸化反應等이 서로다른 溫度係數를 가지고 同時에 일어나고 있는것이다. 이들은 固體對固體, 固體對액체, 액체對기체, 고체對기체間的 反應인 것이다.

이들 特性들은 完全냉각이된 상태와는 전혀 다른 복합반응에 基因한다 하겠다.

燒成條件이 半導體 氧化物形成을 잘구현할 수록 溫度係數는 無視할 程度로 낮아진다.

결국 이러한 完全形成은 最高燒成溫度에서서

히 接近함으로써 可能해 진다.

TCR를 可及的 낮추기 爲해서는 適當時間동안 790°C~800°C를 넘지않게 最高燒成溫度유지를 시켜줘야 한다.

이러한 燒成條件下에서는 雜音과 電壓係數는 높은 面積抵抗 Paste에 對해서는 增大 될 것이다.

또 만일 燒成 Cycle時間을 短縮하거나 溫度上昇率을 높인다면 (75°~125°C/) 分酸化될 여유를 주지않게 되기도 한다.

反面에 溫度係數는 더욱 커지게 된다. 높은 面積抵抗 Paste는 燒成溫度를 높일수록 그 抵抗值가 떨어지긴 하지만 亦是抵抗系수의 雜音이나 電壓係數는 낮춰지게 된다.

또한 potentiometer의 경우에 있어선 높은 燒成溫度는 接觸抵抗을 줄이는데 기여하기도 한다.

以上으로 微弱하나마 Thick-Film Microcircuit製造의 一片을 말씀드리는 바입니다.

弊社에서는 이러한 受動回路뿐만이 아니고 Monolithic Semiconductor Chip等を 使用한 Multifunction Network製作도 이미 始作한바 있습니다. 앞으로 우리나라에서도 더 많은 業體가 본 Microelectrics發展에 기여해 줄것을 기원하는 바입니다.