

常溫氟素塗層劑，在電子零件和電路板防濕、防水、耐酸上的應用

以聚四氟乙烯(PTFE)為代表的氟樹脂具有低表面張力、耐酸性、耐化學藥品性、耐熱性、低摩擦性、高絕緣性等功能，在工業上極為實用並被廣泛的應用於多種領域。但此樹脂由於結晶性高，無法形成溶液，且形成外觀不透明的混濁樹脂。此外，儘管具有耐熱性，但形成薄膜需要 300°C 以上的高溫，這對於電子相關零件的使用上產生了諸多限制。

有數種可溶於氟溶劑或有機溶劑，保留了氟素聚合物除了耐熱性以外的優點，且在室溫下形成透明塗膜的氟素撥水撥油劑，已被開發出來並投入使應用。氟素撥水撥油劑具有優良的撥水撥油性能和電氣特性，有使用於某些電器零件的防水、防潮。然而，傳統的氟素撥水撥油劑的缺點是薄膜的機械強度低且易破損；且由於其最初不是為此目而設計的，在形成膜厚 10 μm 以上的薄膜時若遇到冷熱交替常常出現裂痕。由於膜厚與防濕、防水性能成正比，因此若膜厚不足，則無法獲得足夠的防濕、防水性能。

2003 年，日本 Fluorotechnology 推出了 Fluoro Surf® FG-3000 系列，這是一種氟素防濕塗層劑，專為印刷電路板(PCB)和電子元件的防濕、防水塗層而設計，並取得了亮眼的業績。接下來我們來探討一下這種氟素防濕塗層劑。

1 概要

日本 Fluorotechnology 公司的氟素防濕塗層劑 Fluoro Surf® FG-3000 系列的塗層成分使用側鏈具有全氟烷基的丙烯酸樹脂。此樹脂形成氟樹脂中表面張力最低的薄膜，具有優異的撥水、撥油性和電氣特性。另外，可以與其他不飽和單體組合共聚，透過選擇可共聚單體，調整其在各種溶劑中的溶解性、皮膜強度等特性，以對應多樣化的用途需求。

此外，Fluoro Surf® FG-3000 系列使用氟溶劑作為溶劑。氟溶劑與一般有機溶劑的不同之處在於，它們不燃(非危險品)、毒性低、氣味溫和。不在安全衛生法、PRTR 法、消防法等規定的有害物質範圍，可以安全、自由地使用；但其原材料價格則較昂貴。

此外，Fluoro Surf® FG-3000 系列可以配合客戶需求設定樹脂成分的濃度，選擇不同乾燥速度的溶劑，讓使用者可以根據製程需要選擇最適規格的产品。

2 塗膜特性上的優勢

專為印刷電路板(PCB)防濕、防水、防酸等應用而設計的 Fluoro Surf® FG-3000 系列具有優異的防濕和絕緣性能，展現出作為電路板和元件的絕緣、防濕塗層劑或耐酸、耐腐蝕塗層劑的高性能。顯示。傳統的撥水撥油處理，薄膜機械性能不佳，且容易因熱衝擊而破裂，因此市場上產品的膜厚至多 1 μm (2% 樹脂濃度)。表-1 列示了按塗層類型和膜厚區分的透水率資料。從此表可以看出，由於防濕性與膜厚成正比，因此在膜厚小於幾個情況下，即使具有高防濕性能的氟樹脂薄膜也無法展現出足夠的功能。Fluoro Surf® FG3000 系列可以輕易形成各種厚度的薄膜，從幾微米薄到幾十微米甚至更厚；即使在高膜厚情況下，也能承受冷熱循環衝擊而不破損，可以發揮優異的防濕防水功能。

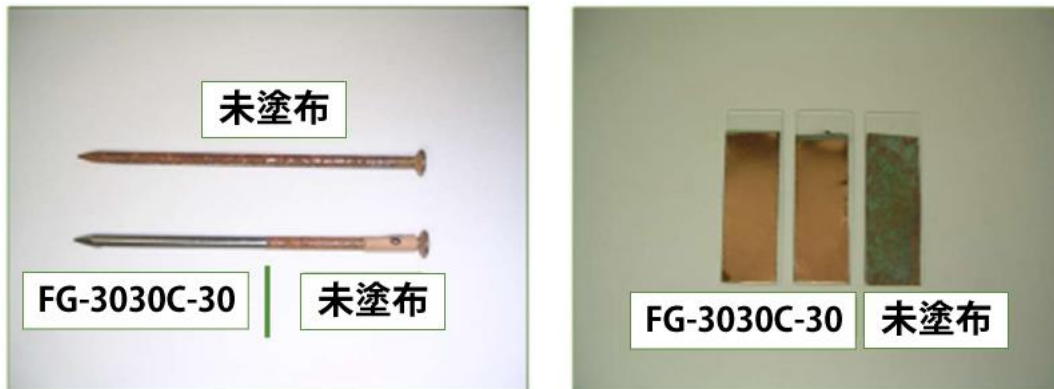
表-1 依塗膜劑種類和膜厚之透水率比較

塗膜劑種類	膜厚 (μm)	透水率 (g/m ² /24hr)
Fluoro Surf® FG3650TH-8.0	8	640
Fluoro Surf® FG3650C-30	30	220
Fluoro Surf® FG3650C-20 塗佈 3 次	100	37
他牌 聚胺酯 塗膜劑 1	30	880
他牌 聚胺酯 塗膜劑 2	100	290
他牌 丙烯酸樹脂	100	240
他牌 矽膠灌封膠	100	1200

如表-1 所示，和傳統聚胺酯、丙烯酸樹脂的電路板防濕塗料相比，Fluoro Surf 相同膜厚下的透水率低至 1/5~1/6 左右，展現了高防濕性。與灌封所使用的矽膠樹脂相比，透水率更低到約為 1/30。換句話說，如果需要相同程度的防濕性，則膜厚度可以按比例更薄。使用氟素塗層劑對於追求輕量化的行動裝置來說極為有利，因為它可以在比其他類型樹脂更薄的膜厚下提供防濕性。

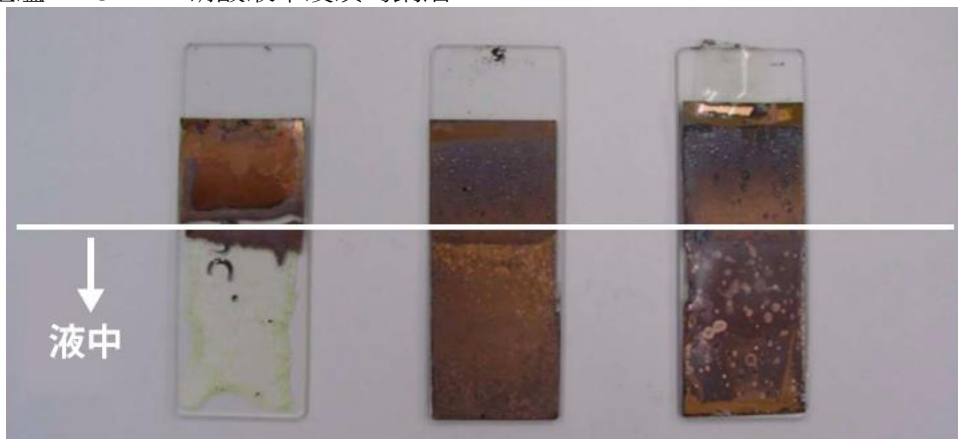
氟樹脂的另一個特點是化學安定性，具有耐鹽水和耐酸性。圖-1 顯示了鹽霧試驗的結果。即使經過 480 小時的噴霧，經氟素塗層的樣品表面也沒有觀察到任何變化。圖-2 為將銅箔(厚 0.1mm) 浸入 10wt%硝酸液中，與未塗覆的銅箔樣品在 24 小時內溶解消失相比，僅約 5 微米膜厚的氟素塗層讓銅箔殘存下來。

圖-1 氟素防濕塗層劑的耐鹽水性



FG-3030C-30 樹脂成份濃度 30%
以浸泡方式塗佈，膜厚約 20 微米
5%鹽霧 30°C，2 小時間隔，連續 480 小時噴霧

圖-2 室溫 25°C 10%硝酸液中浸漬的銅箔



沒有塗層	FG-3030TH-8.0	FG-3030TH-8.0
24 小時後	24 小時後	100 小時後

表 2 顯示了將 200 μ m 狹縫經塗層劑保護的絕緣電極暴露在 5wt%鹽水中，各種塗層劑皮膜保持絕緣特性一直到絕緣被破壞為止的時間比較結果。用來比較的聚氨酯類防濕塗層劑已被各大汽車製造商使用多年，但其耐絕緣破壞性能僅為幾秒鐘。相較之下，氟素材料表現出壓倒性的優越性能，依不同膜厚能夠呈現幾分鐘到 3 小時的絕緣性。

表-2 絕緣耐破壞性

塗膜種類	主成份濃度	塗佈方式	膜厚 (μ)	絕緣破壞時間	最大電流值(μ A)
FG-3650TH-8	8%	浸泡	5-8	3 分 50 秒	620
聚氨酯類	15%	噴塗 2 次	5-8	立即	1000 以上

FG-3650C-30	30%	浸泡 2 次	15-20	146 分	1.0
聚氨酯類	15%	噴塗 5 次	15-20	3 秒	1000 以上
FG-3650C-40	40%	浸泡	20-30	182 分	2.2

基於以上的結果，Fluorotechnology 公司總結了實際應用需求、建議膜厚和建議樹脂濃度之間的關係於表 3。

表-3 應用需求與建議膜厚及濃度

分級	應用需求	建議膜厚(μ)	建議濃度
I	一般條件下保護電子電路和零組件免受空氣中濕氣的影響	2-4	4-8%
II	沿海地區炎熱潮濕條件下保護電子電路和零組件	4-8	8-10%
III	偶爾接觸水，或，保護電子電路與零組件免於蓄電池電解液和酸性氣體的影響	6-10	20%
IV	電子設備浸入水中仍能持續作動至約 10 分鐘，電子電路和零組件的保護	20-40	30%
V	電子設備浸入水中仍能持續作動至約 60 分鐘，電子電路和零組件的保護	30-50	40-50%
VI	完全浸入水中電子電路和零組件的半永久性保護	50 以上 *	40-50%

* 需要搭配防水容器

除了上述電氣特性外，氟素具有 2.5 左右的低介電常數，不易受噪音影響，可使用於高頻電路板；而且還具有比其他樹脂更高的絕緣性能。

與其他樹脂的各種其他性能的比較請參見表-4。

表-4 各種塗層劑的特性

系統	體積電阻*1	介電常數*2	不燃性*3
氟素類 (Fluoro Surf®)	8E15	2.5	V-0
聚氨酯類	3E14	3.5	V-0
丙烯酸類	8E14	2.5	可燃

矽膠類	5E13	2.7	V-0
烯烴類	3E16	不明	可燃

*1 40°C 90%RH(相對濕度) ($\Omega \cdot \text{cm}$) *2 1 Mhz *3 依 UL94 標準測試的樹脂不燃性

3 使用上的優點

3-1 薄膜不燃性

一般對電路板上防濕塗膜的期望是，在因短路引起的火災時具有自熄性，或為了防止火勢蔓延而具有不燃性。氟樹脂本身燃燒時需要大量氧氣，因此即使不添加阻燃劑，塗膜也具有相符合 UL94 標準 V-0 級的不燃性。對於含氮原子的聚氨酯以外的其他樹脂，為了達到相當於 V-0 的不燃性，需要合併使用磷化合物、無機化合物等阻燃劑。此外，某些烯烴系的塗層劑則並未消除其可燃性。

3-2 塗層液不燃性

此外，Fluoro Surf® FG-3000 系列使用不易燃的氟溶劑作為含氟聚合物的揮發性溶劑。因此在消防法它被視為無害材料，塗裝和乾燥過程不需要由具有乙種第 4 類以上危險材料處理資格的人員操作；也不需要獲得危險材料處所認證，入庫數量或危險物質倉庫中存放數量等的管理也不需要。再者，塗裝設備、通風、照明等電氣設備無需採取防爆措施，因此可大幅減少新設備的投資。此外，由於不屬於勞動安全衛生法規定的有機溶劑的範疇，無需依照該法規定定期進行環境檢測或有機溶劑檢查，可大幅減少基礎設相關管理項目。

3-3 高可靠性

對於 UV 固化型、熱固化型等經由化學反應進行固化的塗層劑，如果在固化過程中發生反應抑制，則固化反應可能無法完全完成，並且可能會殘留未反應的物質(單體、寡聚物)。舉一個固化失敗的例子，UV 固化/熱固化類型可能會因為光源劣化或氧氣的存在而導致固化條件不穩定。由於很難對固化狀態進行 100%線上非侵入性檢查，因此管理固化狀態的唯一方法是利用反應條件間接管理它。

不完全固化而殘留的未反應物質會對電性能產生負面影響，並且由於薄膜處於溶脹狀態，時間久了未反應物質會滲出到薄膜界面，導致發生塗層的接著剝落的可能性。

在 Fluoro Surf® FG-3000 系列中，樹脂成分在氟溶劑蒸發並乾燥後形成薄膜。由於成膜不涉及任何化學反應，因此除了依賴膜厚的特性之外，無論塗佈和乾燥等製程條件如何，都能穩定地獲得滿足設計值的電氣特性。

4 實際案例

接下來介紹幾個 Fluoro Surf® FG-3000 系列在電子防濕、防水、防酸應用的實際例子。

4-1 防濕、防離子遷移、防漏

如第 2 節所述，Fluoro Surf® FG-3000 系列比聚氨酯類、丙烯酸類、矽膠類等傳統防濕塗層劑具有更高的防濕性，所以塗層可以做得更薄，有助於減輕重量；非常適合智慧型手機、平板電腦、遊戲機和藍牙耳機等輕型行動設備，在防水和防濕應用方面擁有為數不少的實績。

該塗層還可以有效防止如半導體封裝的導線、柔性電纜的接合，以及 LED 顯示幕電路板的 LED 導線等窄間距區域發生的洩漏。

4-2 鋰離子電池電解液措施

鋰電池因體積小、輸出功率高而常用於行動設備；但另一方面，經常發生火災事故的高危險性也為眾所周知。當行動裝置跌落損壞時，可能因電解液洩漏而損及充放電控制電路，因而導致熱失控，進而引發火災。當發生電解液洩漏時，氟素塗層具有最佳的耐電解液性和電氣特性，可保護控制電路；而聚氨酯和丙烯酸等其他樹脂則無法保護電路。此耐電解液性和表-2 所示的絕緣耐破

壞性相關。此用途已應用於不只平板電腦、智慧型手機等行動設備，還包括客機、電動輔助自行車、電動車等多種鋰電池控制電路板。

4-3 防止 LED 劣化(防硫化)

LED 照明因其低功耗和長壽命等優點而日益取代白熾燈和螢光燈，但薄型 LED 的亮度可能會逐漸下降。LED 的結構是在發光元件的背面有一個鍍銀反射片，可以有效地將光向前投射。(圖-3) 發光元件是用矽膠樹脂封裝的，但大氣中存在的微量硫化氫會穿透密封樹脂，使反射器上的銀硫化，表面形成硫化銀變黑，因而反射光減少亮度降低。這種現象在表面貼裝薄型 LED 中，因為封裝樹脂比子彈形 LED 更薄就更容易發生。

作為避免這種現象的對策，我們測試了幾種塗層樹脂；其中氟素塗層劑是最有效的。圖-4 顯示了暴露在含有 15-20 ppm 硫化氫的空氣環境中的 LED 用鍍銀板。在沒有塗層保護的情況下，鍍銀板表面在短時間內硫化變黑；有塗層的則觀察不到變化。因此，氟素塗層產品作為防止 LED 硫化的措施是有效的，在實際應用上已有很多案例。

圖-3 LED 構造

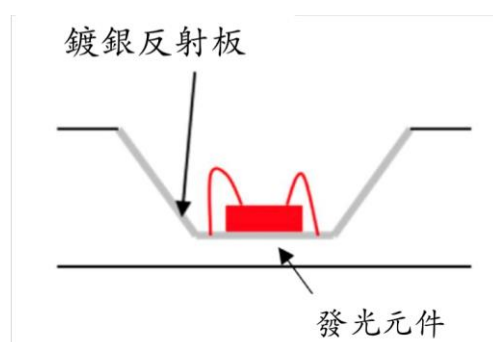
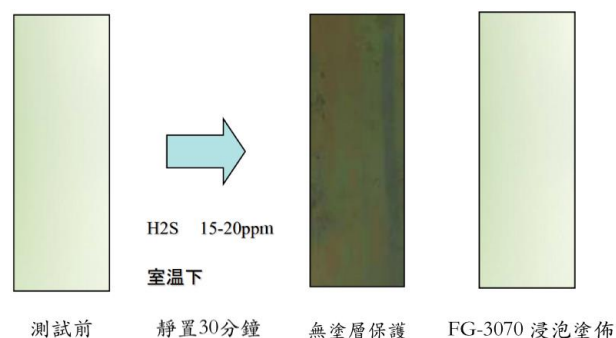


圖-4 耐硫化試驗



5 未來的方向與對環境的考量

包括 PTFE 在內的氟素化合物因不易分解長期以來一直被認為安全的化合物；然近年來，人們發現如果因非法傾倒等方式釋放到環境中，這樣的特性反過來會在自然界中殘留多年而開始被視為一個問題。特別是被廣泛使用作界面活性劑和乳化劑，同時有含 8-10 個碳原子的全氟基團和親水基團的低分子化合物，由於其水溶性，容易擴散釋放到環境中，也視為容易被人體攝入，並蓄積在體內。這些化合物以 PFOS (Perfluoro Octane Sulfonic Acid, 全氟辛烷磺酸)和 PFOA (Perfluoro Octane Acid, 全氟辛酸)為代表，統稱為 PFAS(Perfluoro Alkyl Substance, 全氟烷基物質)。

這些化合物在人體內的半衰期 PFOS 為 8.6 年，PFOA 為 4.3 年。本來高生物累積性化合物的定義是在人體內半衰期為 10 年以上，因此該化合物不屬於高生物累積性化合物的範圍；然而由於擔心環境中的殘留物質可能在未來造成問題，因此制定了基於 POPs 公約 (關於持久性有機物質污染的斯德哥爾摩公約)。