

UV雷射直接成像— 下一代電子封裝用的 高效能光阻劑之趨勢

◆呂理成

台灣杜邦股份有限公司

印刷電路材料 杜邦 i 科技 業務經理

摘要

UV雷射直接成像(Direct Image)在印刷線路板(PWB)上的應用，正以極快的速度增加。此一成長可望持續，大幅顛覆具有細線路PWB的製造方式。隨著此項成長，對第一代市售高速光阻劑所要求的效能，也隨之升高。這裏所陳述的是透過對第二代UV雷射直接成像光阻劑的開發技術，所見到的特性改善。這些特性改善能夠適用於酸性正片蝕刻(Acid Print-and-etch)、鹼性蝕刻(Alkaline Print-and-etch)、電鍍(Plating)、以及一般用途的光阻劑上。下面所述在感光性及操作範圍的主要改進，已被融入第二代的LDI光阻劑中，已成為商品化之產品。

關鍵詞

雷射直接成像(Laser Direct Image; LDI)；高密度互連結構(High Density Interconnection; HDI)；乾膜(Dry Film)；光阻劑(Photoresist)；雷射曝光機(Laser Plotter)；曝光(Exposure)；顯像(Development)；感光啓始劑(Photoinitiator)；抑制劑(Inhibitor)；單體(Monomer)；印刷電路板(Printed Circuit Board)

簡介

印刷線路板的雷射直接成像(LDI)方

法，已行之有年了。直接成像所能獲得的優點已是衆所週知，包括了：

· 免除底片以及相關的廢液及處理

過程。

- 免除底片相關的成本及缺點。
- 以高良率生產高解析度板子的潛能。
- 外層影像的比例調整。
- 經濟批量生產之可能性。

在過去的兩、三年中有許多文章發表過，描述直接成像之優點。本文將不再探討這些，而是要集中在UV雷射直接成像使用的下一代光阻劑之特性改善上。

為了使直接成像的效益增大，以獲取LDI製程的經濟性，特殊的雷射直接成像光阻劑是必要的。除了要具有非常高的感光度之外，這些光阻劑必須設計適用於標準的PWB生產程序。最好使用乾膜光阻劑，因為它們可省略液態光阻劑塗裝線相關的安裝與折舊、乾燥過程所用溶劑的棄置與焚化、塗裝線維修與提供流程控制所需的工程支援，以及產生無瑕疵、均勻厚度光聚底片相關的花費與產量。LDI乾膜已完成開發且已商品化。

現在正從商品化的LDI光阻劑累積經驗，對下一代光阻劑的要求也能夠開始界定。開發第一代LDI光阻劑的主要挑戰，除在維持製造高級PWB的效用需求之外，還要達到不超過每 $10\text{mJ}/\text{cm}^2$ 高敏感光度。這項挑戰已被征服。生產LDI乾膜的公司對雷射直接成像的承諾，係表現在持續引入新產品以及現有產品後續的升級。此處所述的是達成下一代LDI乾膜光阻劑效能的技術方法。

目前LDI乾膜光阻劑的產品特色

杜邦印刷電路材料部門的乾膜第一代系列，雷射系列LD-130、LD-145及LD-240均已商品化。這些光阻劑是由UV LDI雷射曝光機的兩大供應商—ETEC

Systems及Orbotech所合作開發供PWB工業使用的。它們在相同的技術基礎上，針對各別特定的最終使用目的，以最佳化的化學性質進行配製。這些光阻劑已被逐漸增加LDI使用者廣泛的接納。隨著使用這些光阻劑的經驗增加，我們對它們在生產環境中的效能也就了解愈多。

整體而言，第一代光阻劑的整體效能是相當好。它們的感光敏度很高，大約是傳統接觸式光阻劑的2倍至4倍。顯像範圍及解析度能力很突出。運用於後製程的蝕刻、電鍍及去膜之性能都很好。有許多各行各業的製造者在ETEC DigiRite™ 2000及Orbotech DP-100™雷射曝光機上，以及在Orbotech DP-40™雷射曝光機上，曾成功的使用過第一代感光聚合的負型乾膜光阻劑。

透過這些實際的經驗，有兩項需改進效能的部分已被認定。即改進感光度以及改進壓膜後放置時間(PLHT)。包括在PLHT中的對黃光穩定度，以及PLHT蝕刻不淨的改進。如果在建議的安全光及放置時間(Hold Time)操作範圍內，這些效應將可有效控制。增加操作範圍將可使製造者在製造高密度PWB上，增加整體產量並降低整體的成本。現將各個改進的情形說明如下。

一、感光度

LDI光阻劑感光度的定義，係將儲存在LDI雷射曝光機中的CAD資料庫所給定的一個幾何形狀加以複製，並讓曝光中的乾膜得到適宜的能量，使在後製程上發揮應有的反應。例如，假設從2mil的資料庫中產生一條2mil寬的線條，需要 $8\text{mJ}/\text{cm}^2$ ，則這個光阻劑的感光度就是 $8\text{mJ}/\text{cm}^2$ 。如果 $8\text{mJ}/\text{cm}^2$ 只產生1.8mil寬的線條的話，則此光阻劑就是曝光不足，需要更高的曝光能量，也就是說這個光

阻劑的感光度大於 $8\text{mJ}/\text{cm}^2$ 。

LDI光阻劑的感光度之原始需求，係與雷射曝光機製造商合作開發的。目標的規格係 $8\text{--}10\text{mJ}/\text{cm}^2$ ，此值係依照開發當時雷射曝光機之設計參數為基礎。當時相信此值應足以讓雷射曝光機具有最大的產量，同時也確保良好的雷射管壽命。目前的LD系列光阻劑已具有此範圍上限值的感光性。

LD系列光阻劑因具有大約 $10\text{ mJ}/\text{cm}^2$ 的感光性，它決定了ETEC 及Orbotech雷射曝光機的生產能力。也就是說，雷射曝光機生產速率將因而受限。雷射管的功率也必須開到最大，如此將會縮短其有效壽命。透過增加光阻劑的感光性（降低所需的 mJ/cm^2 ），在不減損運作效能的情形下，雷射曝光機上的每個畫素所需之曝光時間將會縮短，而產能則能夠提高。下一代光阻劑的目標是感光性要夠高，使在ETEC DigiRite™ 2000及Orbotech DP-100™雷射曝光機上具有最大的產能。

二、黃光之穩定度

塗佈有光阻劑的PC板往往在曝光及顯像之前，會存放在黃光下。這種狀況會因為工作流程、假日、週末等因素而出現。所以塗有光阻劑的PC板曝露在黃光下，而光阻劑的效能不會受影響，這點是很重要的。

目前的LD系列光阻劑對黃光的敏感性，已高於預期。在黃光下一段長時間後，即會對光阻劑的感光性造成改變。感光性改變的程度係受黃光強度及在黃光下停留時間長度兩者的綜合影響。

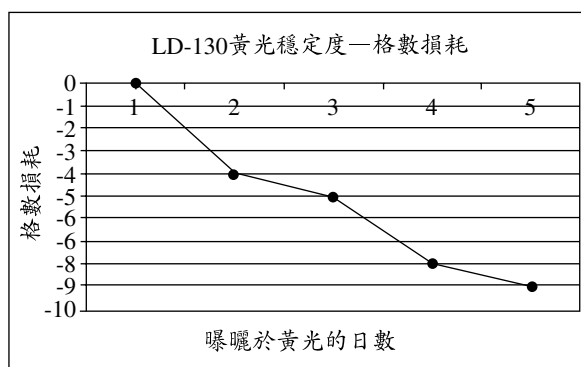
圖一所示為從第一代之酸性蝕刻光阻劑LD-130，以曝光格數表在黃光一段時間中測試所喪失感光性之情形。請注意此項資料是從接觸式曝光獲得的，但

與雷射曝光機所觀察到的相同。相同的趨勢也在其他LD光阻劑上見到。黃光的強度約為 375 lux 。

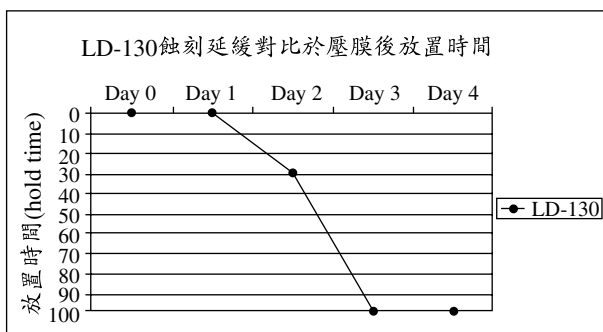
三、壓膜後放置時間

如同傳統的接觸式曝光阻劑所會發生的反應一樣，在曝光及顯像之前，延長壓膜後放置時間範圍會導致銅箔表面在顯像之後留下有機的殘留物。這點可以歸因於幾項因素，包括有銅箔的類型、銅箔上的反應時間長短、壓膜之前銅表面的清潔程度、出像點(Break-point)、顯像化學藥劑的藥效、噴嘴及顯像機內壓力施加的衝擊力等等。如果銅箔上殘留有有機殘留物，則可能會增加出現蝕刻不淨與電鍍銅附著力下降的機會。

如果依照建議的操作規範，雷射系列的光阻劑都表現良好。然而，放置時



▲圖一 LD-130感光性減損對比黃光下之曝曬



▲圖二 LD-130蝕刻延緩對比於壓膜後放置時間

間(Hold Time)之操作範圍比期望的還窄。圖二所示為LD-130因延長的放置時間，引起蝕刻不淨的趨勢。

下一代雷射直接成像 光阻劑的技術

下列所述為下一代UV雷射直接成像光阻劑所開發的新技術，所表現的特性改善。這些光阻劑將歸屬為LDX（X代表實驗性質）。LDX係以雷射系列光阻劑的優點，加上改進感光性及顯像操作範圍的目標。下列所述的結果即為雷射系列LDI-300。

一、LDX感光性

就重要的因素而言，以壓克力作為基礎之光阻劑的感光性操控於：

- 感光啓始劑(photoinitiator)的化性及其用量。
- 壓克力基單體反應度及作用度。
- 光阻劑中穩定劑及抑制劑的含量。

就次要的層面而言，它係由光阻劑對接觸的顯像液之耐反應度所決定。如果曝光的光阻劑對顯像液的耐力不足，成像品質就可能受損，會產生膨脹、去膜、不良的側壁結構等等。若要補償這類影響，就需要較高的曝光能量，也因此又會明顯的降低感光性。這點對LDI尤其是明顯。

光阻劑中，所有成份都必須得到平衡，以達到產品所要求的整體效能。高感光性但曝光後的低疏水性，將可能使光阻劑之顯像操作範圍變小，甚至無法接受。在光阻劑中的高量穩定劑與抑制劑，會提供優異的存放壽命，但是可能會降低其感光性。同樣的，低反應度的壓克力單體可能會有不佳的感光性。在實務上，若要達到雷射直接成像所需的

高敏感度，而又不會在顯像、蝕刻、電鍍或去膜的過程中犧牲效能，所有上述的材料都必須平衡。

感光啓始劑系統必須設計成在雷射的激發波長處，具最強的吸收力。然後，它必須能產生高量促使光阻劑中壓克力單體聚合所必需的反應化學物質。激發波長的光線強度必須予以最佳化，以促使光阻劑內的良好光聚合作用。光阻劑內的良好光聚合作用能夠提供良好的側壁結構，同時改善對銅箔的附著力，以達到優良的蝕刻及電鍍效能。感光啓始劑系統對黃光所產生的較長波長輻射也應該具備低敏感性。在顯像液中它也應該能夠完全溶解或分散，以避免產生沉積物。

光阻劑中壓克力單體的類別與數量，必須設計成高反應度。光阻劑在曝光聚合後須具備良好的抗化性，如此方能在PWB製造之下製程，具備絕佳顯像範圍，同時維持可接受的去膜特性。

抑制劑之目的為減緩或阻止無用的化學反應，並穩定光阻劑的化學物質，所有的光阻劑都含有抑制劑。光阻劑中的抑制劑提供了準備及製造光阻劑所需的穩定性。它們也使塗上的光阻劑具備良好的存放壽命。但是，如果抑制劑的含量太多，光阻劑的感光性將會削弱。同樣的，如果太少，則光阻劑的存放壽命將會太短以致不具商業價值。

抑制劑可能會由光阻劑的製造商添加到光阻劑的成份中，或者，也可能會出現在其他在光阻劑中所使用的原料裏。例如，光阻劑中使用的壓克力單體係由抑制劑加以穩定的。當壓克力單體添加到光阻劑成份中時，這些抑制劑就會出現在光阻劑中。LD系列的光阻劑也添加有專利的抑制劑，以達到絕佳的製造性及成品的存放壽命。LD系列或LDI-300的光阻劑是不需冷藏的。

在LDX系列光阻劑中提供高感光性的混合成份均已平衡。感光啓始劑系統的成份以及其等對壓克力系統與對成份中的抑制劑含量之比例，均經研究。這些研究已成就了最佳的感光啓始劑系統，以及相對於抑制劑及壓克力單體含量的最佳感光啓始劑系統含量。

相對於第一代的光阻劑系列，這項最佳化的結果就是在感光性方面大幅增強。事實上，LDX的感光性幾乎是LD系列的兩倍，造就了 $5\text{mJ}/\text{cm}^2$ 左右的感光性。事實上，一組針對DigiRite™ 2000的測試中，LDX在 $5.0\text{mJ}/\text{cm}^2$ 至 $6.25\text{mJ}/\text{cm}^2$ 的曝光下，複製了2mil 線/間隔的結構。更低的曝光量則未測試。在相同的測試中，LD-130在 $8.0\text{mJ}/\text{cm}^2$ 至 $10.5\text{mJ}/\text{cm}^2$ 的曝光下，僅達到1.8mil寬的線條，表示需要 $10.5\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上的曝光量，以達到CAD訊號的線條寬複製。此外，LDX的最佳解析度，在雷射曝光機上等於2mil，而在使用接觸式曝光時則小於2mil，同時也有絕佳的顯像範圍、側壁品質，以及在顯像液中沒有不溶物沉積的形式留存。

二、LDX對黃光的穩定度

如前面所討論的，光阻劑的整體感光性係取決於許多成份。同樣的，光阻劑對黃光的穩定度，也受多種成份的影響。

感光啓始劑吸收範圍必須予以最佳化，以便從曝光機或LDI曝光機吸收有效於成像的輻射能，而不是吸收來自曝光機或是黃燈室安全燈射出之波長的光線。

幾乎所有光阻劑都含有染色用的染料或色素。光阻劑中的顏色使其易於處理及調製。選擇顏料系統及著色系統必須小心，以提供曝光前後對比。這些材料不能影響負型光阻劑的聚合作用。它們

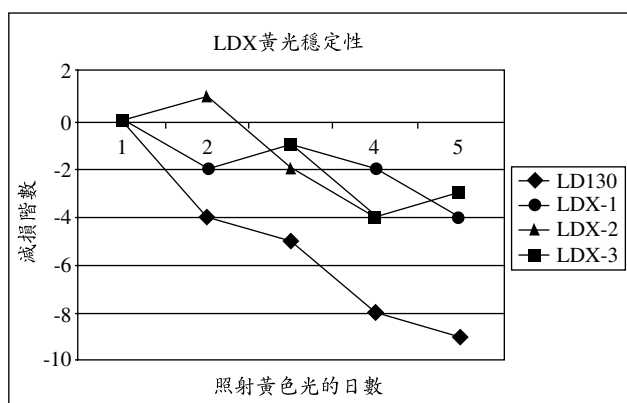
吸收之波長範圍，必須在UV成像光阻劑吸收能量之外。

與感光性相同的，在光阻劑中的抑制劑含量與類別，可能會衝擊對黃光的敏感程度。

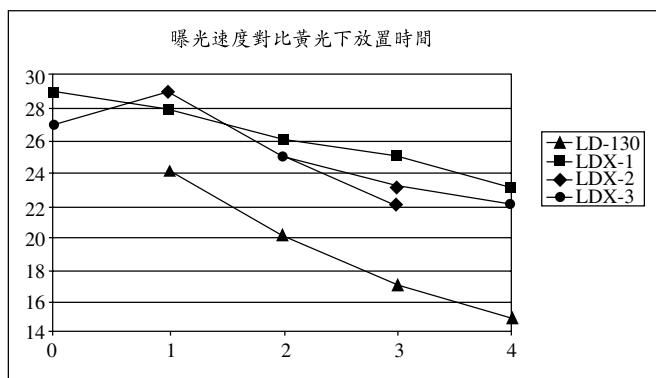
有許多實驗已被設計並執行，以了解LD系列光阻劑中黃光的敏感性，並找出將之減輕或消除的方法。這些試驗的結果是顯著的。現在已經知道黃光的敏感性成因。同時，已經找出許多種方法大幅改進試驗中LDX光阻劑對於黃光的敏感性，而不減損阻劑的任何效能。光的敏感性能夠予以改善，而不降低其感光性或解析度能力。

上述實驗的結果顯示在圖三中。LD-130的感光性已於黃光下減損，與三個實驗性的LDX配方比對。每個LDX配方採用了不同的技術方法。可以看到的是放置在黃光下3日後，LDX光阻劑只減損了41格數表中的不到2格，相對的，第一代的光阻劑則減損了5格。LDX減損的比率較少，使在壓膜後它有較長的放置時間。

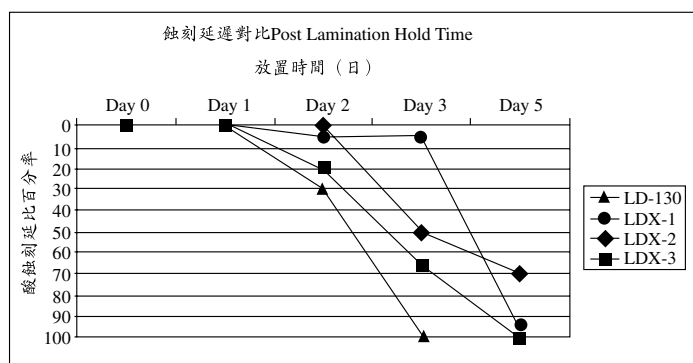
在LDX內進行評估的新配方技術不僅改善了黃光的穩定性，同時也未減損LDX的高感光性。圖四表示LD-130在固定能量下之格數（傳統曝光之41格格數表）對比三種LDX光阻劑。如所見，LDX光阻劑已設計保有高感光性及長期



▲圖三 LDX感光性變化對比 PLHT



▲圖四 LDX感光性



▲圖五 酸性蝕刻效能對比放置時間

曝光於黃光下的穩定性。

三、LDX壓膜後放置時間範圍

改善壓膜後放置時間範圍的第二個理念，是以延長的壓膜後的放置時間範圍，以維持最佳的蝕刻及電鍍效能。放置在黑暗中或黃光下的基板，必須能夠維持此項效能。在LDX效能中再次見到了非常明確的進步。

圖五顯示以第一代酸性蝕刻光阻劑LD-130進行酸性蝕刻的結果，對比三種LDX的實驗配方。第一代LDI光阻劑（酸性蝕刻係工業界的標準作業方式）在一天的壓膜後放置時間範圍下，顯示了極佳的效能。如果在一天之內進行顯像，則沒出現蝕刻不淨。但如果延長壓膜後放置時間範圍，蝕刻的效能就會急劇下

降。

這三個評估中的LDX配方，壓膜後放置時間比第一代的光阻劑好得太多。事實上，其中之一能夠再放置三天，而僅出現些微或沒有蝕刻不淨。這些LDX光阻劑也是採用了具備改良感光性及黃光穩定性的較好化學物質。改良的蝕刻效能則透過控制LDX的附著化學物質達成，可提供具有延長放置時間的最佳蝕刻效能。

使用鹼性蝕刻及電鍍放置時間範圍也可看到類似效果。這個方法也已經被用來最佳化這兩種應用的光阻劑。

總結

使用UV雷射直接成像來製造印刷電路板正逐漸的增加，而乾膜光阻劑的供應商則承諾服務LDI用戶。隨著LD使用的增加，對第一代的光阻劑效能之要求也提升。能將第一代LDI光阻劑之效能做明顯改良的新技術也已經開發完成。對感光性及光阻劑效能操作範圍的改進也已經證明。這些已納入UV LDI乾膜光阻劑、雷射系列LDI-300中的改良，由杜邦公司於2000年3月份在2000 IPC印刷電路博覽會上發表，現在已經上市。

誌謝

作者非常感謝 ETEC Systems、Orbotech及Laser Imaging Systems，長期以來在開發雷射系列直接成像光阻劑與LDX上的協助與支持。