

被動電子元件的 功能積體化發展

◆鄭世裕

工研院工業材料研究所

正研究員

被動電子元件的演進

隨著人們對方便、舒適及安全等要求的提高，電子相關的設施便有著不同程度的演進，這些變化大致上不外乎更多功能，在更小的產品體積及更高使用可靠性的實現方面，反應到電子設備的組成—線路上，除了傳統習知的輕薄短小要求外，更高的功能密度成了線路合成的重要發展方向。此外，配合多元化的媒體資訊傳播需求，更高的工作頻率和更寬的使用頻帶，也改變了線路設計及合成相關的技術，進一步的在組成線路的零組件上也有相對應的改變和演進。由於功能複雜且體積縮小，使得零組件除了原有功能外，如何做得更小成為一種發展趨勢。此外，配合高頻及寬頻帶，零組件的適用頻率不斷提升，也帶動包括材料設計與製造相關技術的改進。現在使用在線路板上的零組件已經可以縮小到難以掌握，而使用的頻率更可高到數個GHz以上。也因應用不斷拓增及零組件小到難以掌握的前題下，新一代的線路製作勢必在可運用之零組件

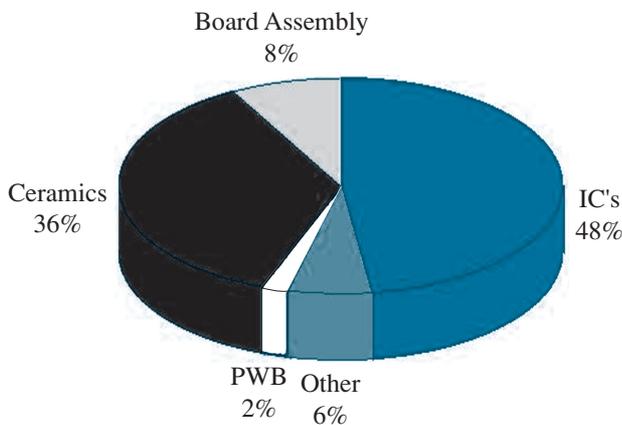
製作上有新的思考及作法，如此才能在應用市場上明顯躍進。

配合新一代線路合成，零組件的功能增多且尺寸適當可控制似乎是不錯的選擇，這種在相同的尺寸上展現更多功能的觀念正如同積體電路的發展一般，因此解決高功能密度線路合成，利用功能積體的方式，將更多的零組件功能積體在一起應是可行的。回憶積體電路IC剛問世時，大幅縮小傳統使用電晶體線路的尺寸，而隨著設計及製作技術的提升，IC的元件密度愈做愈高，功能也就愈來愈多，形成今日可以一片線路板來進行比以往更複雜千萬倍的運算局面，體積縮小及功能增大正是IC發展所做出的貢獻。然則眾所周知，組成線路的成分，除了主動性電子元件外，更多的是被動性電子元件。主動性電子元件可以利用IC技術進行整合縮裝，而被動性電子元件迄今卻仍以個別功能的被應用於線路中，於是造成線路板上主動性電子元件和被動性電子元件的數目差距愈來愈大。在許多使用於無線通訊線路上或

電腦中的主機板，除少數主動性電子元件IC外，主要是數以百計甚或千計的被動性電子元件。除了佔有大部份的零件數外，以無線通訊傳送前級為例，這些被動性電子元件也佔有成本的重要部份，如圖一所示，此成本比重可達36%，僅次於IC的48%。因此如何積體化被動性電子元件，以期減少使用的元件數，進而縮小線路體積，提升線路功能以及降低零組件成本等，是新一代線路合成所需注意的。

被動性電子元件的演進如圖二所

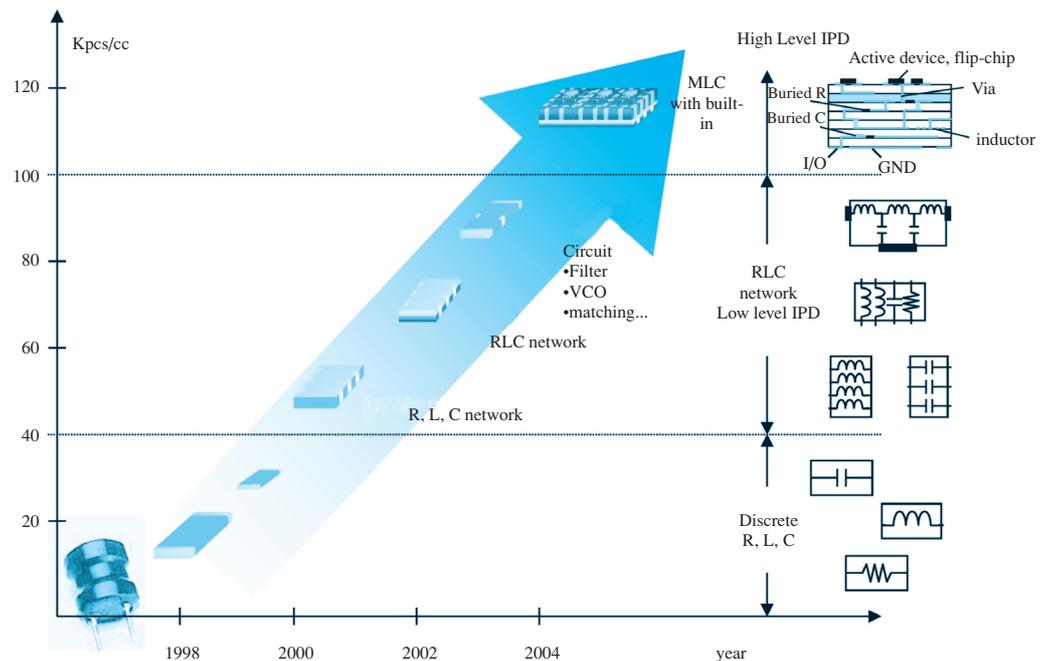
►圖一 無線通訊傳送前級的成本比例



示，早期的被動性元件以接腳式為主，配合線路板製作為插件式。隨著材料性能提升及製程技術的進步，表面黏著元件(SMD)取代了接腳式元件，而線路板的製作也由插件式改變成表面黏著式，在SMD的採用後，使多層線路板的製作更有效，而線路功能密度也大幅提升。隨著技術進步，SMD元件尺寸愈做愈小，到現在已有0201尺寸（即長寬為 $0.5 \times 0.2 \text{mm}^2$ ）的元件問世。由於零件太小且線路密度高，導致在置放這些小型零件所需的配備愈來愈精密，成本也因此愈來愈高。至此使線路製作者不得不思考另一種方式來製作線路，最簡單的方式就是將線路板放置位置接近，且性質相同的小零件，請零件供應商以集合在一起的方式，做成一個體積較各單個零件大，但包含多個小零件功能的新型零件，如此就可輕易的將零件放置到線路上，而不損失線路功能密度，這種新型零件就是各類的排阻(Resistor Network)、排容(Capacitor Network)、排感(Inductor Network)等

此愈來愈高。至此使線路製作者不得不思考另一種方式來製作線路，最簡單的方式就是將線路板放置位置接近，且性質相同的小零件，請零件供應商以集合在一起的方式，做成一個體積較各單個零件大，但包含多個小零件功能的新型零件，如此就可輕易的將零件放置到線路上，而不損失線路功能密度，這種新型零件就是各類的排阻(Resistor Network)、排容(Capacitor Network)、排感(Inductor Network)等

►圖二 被動電子元件之演進

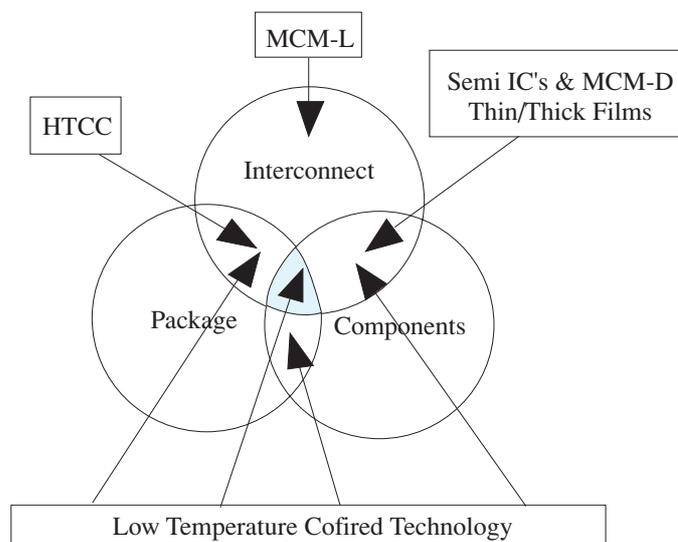


網路元件 (Network Component)。這種新零件隨材料及製作技術的進步，單一元件所能包括的元件數目愈來愈大，而整個新零件的尺寸也愈做愈小，直到現在包括RC（電阻電容）及LC（電感電容）等異質材料形成的新式網路元件陸續問世。配合著多層陶瓷製程技術的成熟及普及，元件的功能由2度空間的佈置進入3度空間的結構，於是更高功能密度的積體式被動元件被廣泛提出及研發，因此可見的未來，這類功能更多的新零件將會使線路的製作更簡單可靠，而線路的功能密度也會再次大幅提升。

線路功能積體化的發展

線路的組成一般需考量連接線、電子零組件和IC構裝等部份，選用的技術包括印刷電路板、厚膜及薄膜等，這些技術在線路的合成方面各有擅長，如圖三所示。一般多層式印刷電路板以提供連接線為主，半導體IC及薄膜電路則可提供零組件以及連接線的功能，而採用厚膜電路的高溫共燒陶瓷(HTCC)則提供IC構裝及連接線的功能，低溫共燒陶瓷(LTCC)技術則可提供包括連接線、零組件和IC構裝的功能。由此可預知，要將零組件積體化在線路中，以厚膜電路為基礎的LTCC技術是具有潛力的。採用LTCC材料為零組件積體化的基礎乃在於此種材料具有寬廣的材料特性，如圖四所示，LTCC材料的介電常數可以在3.8至16000，對需要低介電常數的IC構裝應用以及需高介電常數的電容元件應用均能符合，而且LTCC材料可與RuO₂等組成電阻元件的材料燒在一起，給予在此種材料上直接製作電阻元件的可能性，這也是LTCC材料的優點。如圖四所示，

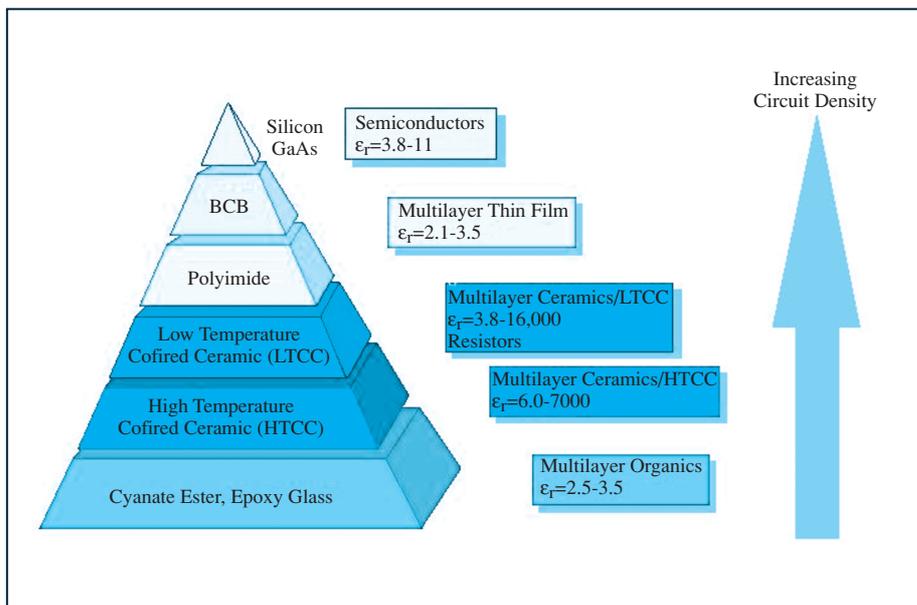
Technology Comparisons



◀圖三 線路組成及合成技術

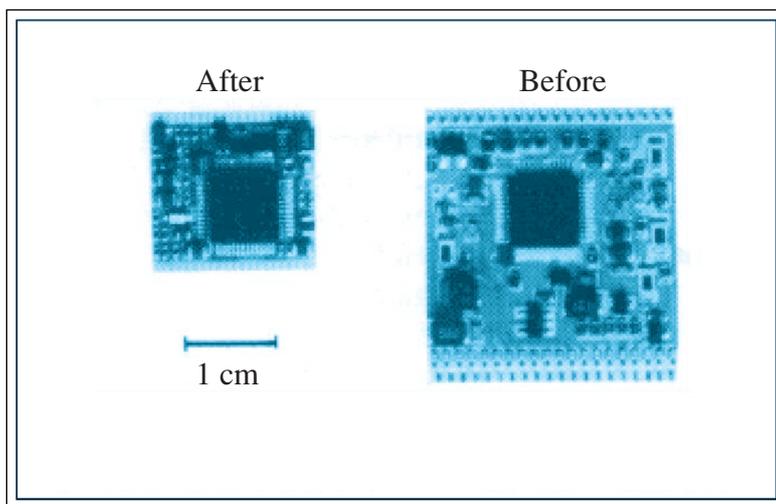
LTCC技術能提供較印刷電路板及HTCC更高的線路密度，這也是LTCC可以同時表現線路組成所需的連接線、零組件及IC構裝的重要結果。由圖四亦可發現，LTCC的線路密度介於薄膜和厚膜之間，對提供薄膜和厚膜電路的結合，LTCC有其獨特之處。換言之，進一步線路密度的提高可以利用在LTCC的線路基板上製作薄膜電路的方式來獲得。

線路功能積體化實現的基礎在整合被動電子零件，將某些線路的功能以積體化的元件來取代傳統個體式(Discrete)元件應用方式，不唯使線路上需要的零件數減少，直接獲利的可在線路所佔用的面積上發現，如圖五所示，一些零件經整合積體化後，雖然IC所佔用的面積不變，但整個線路板的尺寸可大幅減少。這種零組件整合在一起的最有效的技術方式便是以LTCC材料為基礎的元件製作技術。由於LTCC材料可展現各種被動電子元件所需的特性，因此只要將各種元件功能的材料調整到可共燒，就可以達成功能積體化的元件。在這方面相關的技術涵蓋材料開發、異質共燒以及元件功能設計與佈局等。如果將LTCC材



▲圖四 LTCC在IPC發展上的潛力

損失，一般材料需要要有高的Q值。此項因素直接對應到的是使用導體的導電度及介質材料的品質因素。導體的導電度以Ag、Cu及Au為佳，而介質材料的品質因素陶瓷優於印刷電路板，因此以LTCC材料配合高導電度的導體將會是高頻應用的較佳選擇。加以LTCC材料配合多層陶瓷製程的功能積體化優勢，使LTCC技術成為解決高頻且小體積線路實現的最佳選擇。



▲圖五 被動電子元件整合前後線路板面積改變狀況

尤其在個人用電子系統朝向口袋大小尺寸、重量輕、低功率、低成本、最佳的性能及高的可靠性的需求演進時，以LTCC技術為基礎的積體化元件將漸次進入線路合成市場的主流中。

系統模組化的趨勢

零組件配合著系統發展需要不斷被合併或整合在一起，然後經小型化之後再整合更多的元件，這樣發展的結果是可預見的。當材料、製作、設計及測試技術成熟到某個程度，

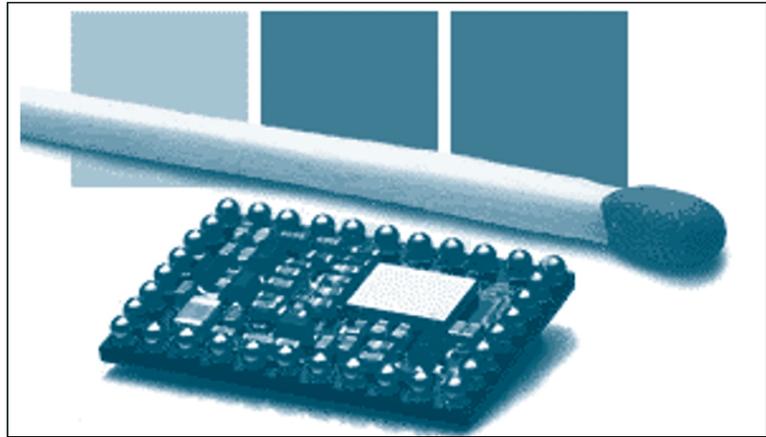
代表一個系統功能的線路可被整合到只剩一顆零件。以零組件發展的歷史和技術提升的速度，這種理想是可能存在的。唯一需考量的只剩下成本問題，將複雜的線路功能中許多不同性質的零組件整合在一起，到底划不划算，相信在價格的障礙會遠大於技術的障礙。這也是IC能整合更多的被動性元件卻不整合的原因之一。然則隨著功能提升、密度提高，零組件數目增加勢必難免，因此

料配合多層陶瓷製程技術，可使元件的功能積體化由平面式2度空間拓展到立體式的3度空間，當然在3D的元件功能設計與佈局相關技術亦待發展。

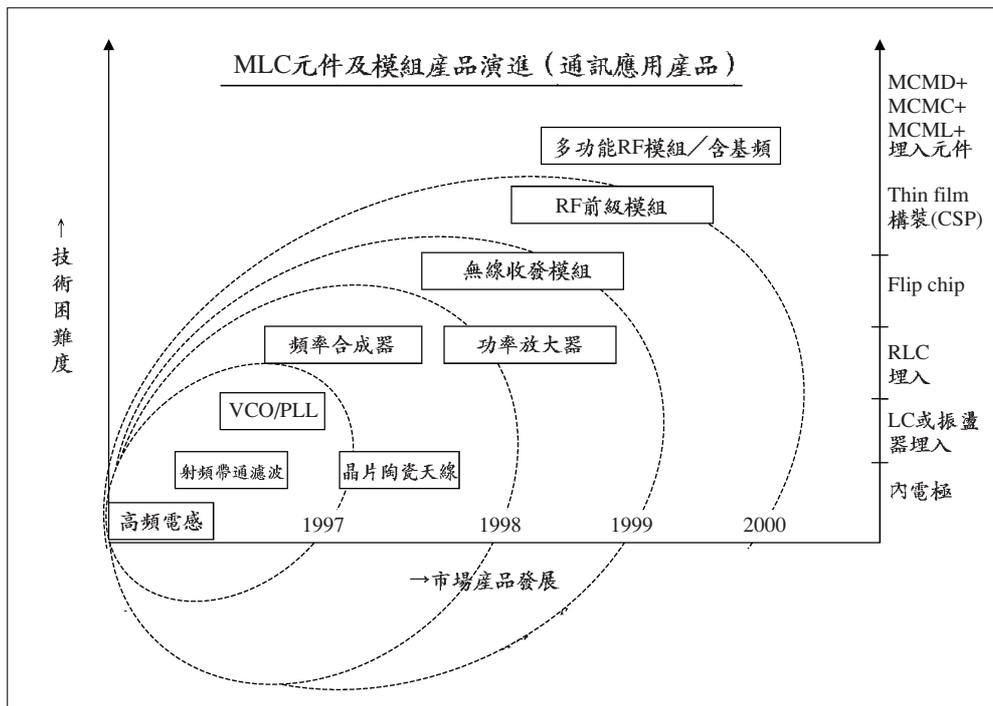
除了積體化的技術外，線路的運用已逐漸推向更高頻率，因此除了在材料需考慮各項特性的高頻行為外，在設計及測量技術上也需進一步開發。材料在高頻應用的主要特性來自品質因素(Quality Factor)Q值，為減少高頻訊號的

代表一個系統功能的線路可被整合到只剩一顆零件。以零組件發展的歷史和技術提升的速度，這種理想是可能存在的。唯一需考量的只剩下成本問題，將複雜的線路功能中許多不同性質的零組件整合在一起，到底划不划算，相信在價格的障礙會遠大於技術的障礙。這也是IC能整合更多的被動性元件卻不整合的原因之一。然則隨著功能提升、密度提高，零組件數目增加勢必難免，因此

在達到完全的整合之前，採用部份整合的折衷方案應是合理的。這種折衷方案就是將儘可能放在一起來表現功能之元件先整合在一起，這也就是次模組的產生。配合被動元件積體化後再將IC構裝上去，形成體積更小的線路模組。如圖六就是以LTCC多層陶瓷為基礎，上面再結合IC構裝所形成的Bluetooth射頻模組。以無線通訊為例，採用LTCC多

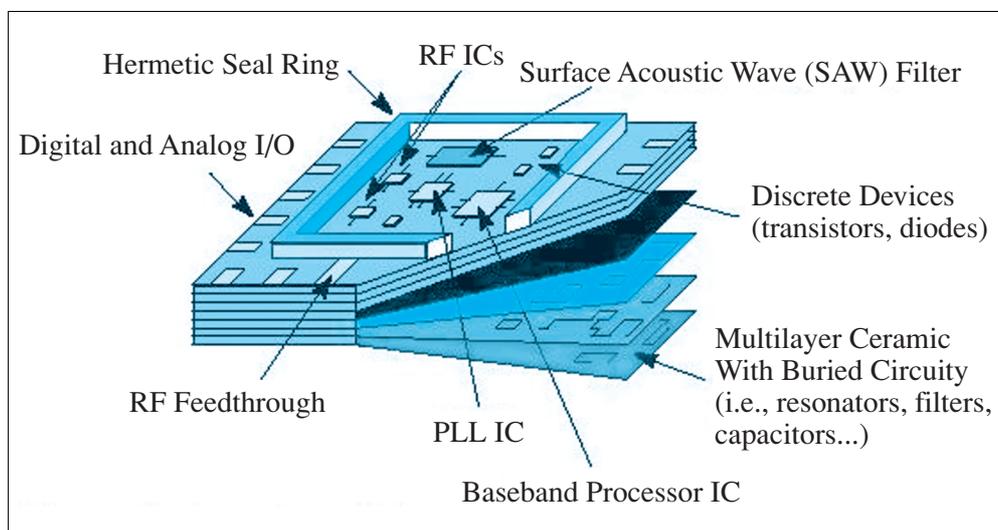


▲圖六 LTCC多層陶瓷製作之Bluetooth模組



◀ 圖七 以LTCC及MLC技術製作的無線通訊模組產品演進

註：MLC為Multilayer Circuit，是一種包含積體被動元件及多晶片組構裝的混成積體線路



◀ 圖八 包括連接線、埋入元件及IC構裝的射頻模組

層陶瓷技術所形成的模組化產品，如圖七所示，隨著技術的進步，各種功能的無線通訊模組已陸續開發完成及問世。零組件的功能積體化配合IC構裝技術，一個比較理想性的射頻模組結構，如圖八所示，利用材料的機能及多層陶瓷製程技術，在各層間分別製作不同功能的被動性電子元件，例如電阻、電容、電感、濾波器、震盪子等等，而無法在多層陶瓷結構中獲得的機能如IC、SAW、濾波器、二極體等，以構裝方式在多層陶瓷結構的表面製作上去，配合射頻通訊元件所需的電磁波屏蔽，亦可藉由氣密性封裝來提供。最後整個結構所呈現的外觀有如一顆尺寸較大的IC，事實上這種以多晶片模組(Multi-Chip Module)方式配合多層陶瓷結構，本質上已提供一項新的線路製作方式，而這顆模組IC也對更複雜的線路提供有效可靠的製作方式。這項新型的模組IC便是被動電子元件積體化的極致，也是功能積體化技術的典型代表。

結論

被動性電子零件的輕薄短小趨勢已造成零件太小不易使用的窘境，在線路功能密度不斷提升的需求下，以功能積體化的方式來整合被動性電子零件形成

網路元件或積體化被動零件(Integrated Passive Component, IPC)成為有效的解決方案。除了小型積體化外，使用頻率的不斷提升也促使被動性電子零件在材料、製程、設計及測量等各方面的技術開發有新的發展。

低溫共燒陶瓷材料LTCC具有良好的高頻特性及寬廣多樣的材料規格，配合多層陶瓷製程提供的3D功能組合之能力，使以LTCC結合多層陶瓷製程技術所形成的新產品，最具有高度功能積體化的彈性，尤其在多層陶瓷結構的表面可採用先進構裝技術來大幅縮小整個線路的尺寸。在高功能集積度的線路製作，採用LTCC材料系統所形成的多層陶瓷基板，無疑的在技術上是最佳的選擇。

利用功能積體化來發展線路模組可有效地提升線路密度，目前已有許多積體化的線路模組如功率放大器、射頻濾波器、晶片天線、射頻前級等被應用於無線通訊中。配合未來線路功能的進步及更多樣化，具有更多功能的積體化線路模組會陸續進入產業運用。而這類結合高頻功能材料、多層結構及多晶片先進構裝等所形成的模組將更小體積、多功能及高可靠性，相關的研發及產品化將會是被動性電子零件發展的主流。