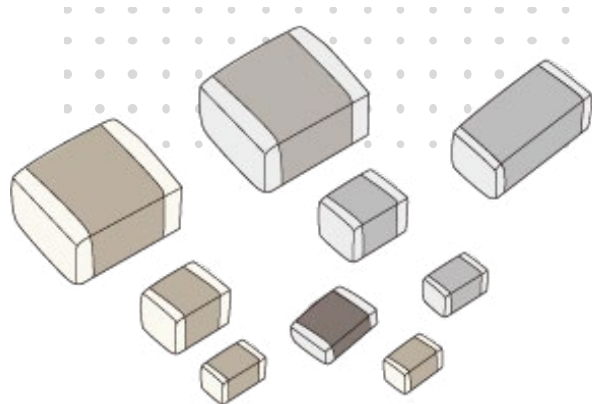
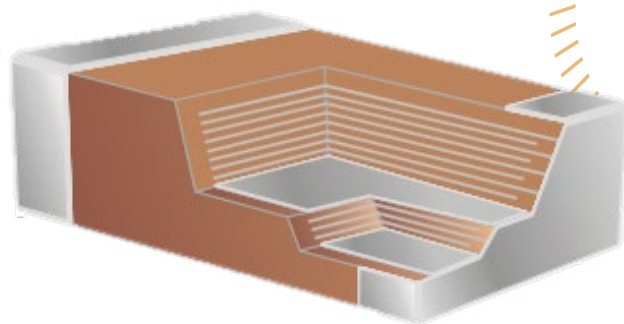


電容器的主流派：積層陶瓷電容

文/吳孟倫

在電容元件的發展上，積層陶瓷電容(Multi-layer Ceramic Capacitor, MLCC)為時下的主要製程模式，MLCC具有耐高溫及高電壓、體積小為其優點，隨著電子產品追求輕薄短小，MLCC成為智慧型手機、汽車及所有電子設備內部不可缺少的元件。

MLCC的電容值與鈦酸鋇材料的介電常數、尺寸及堆疊層數成正比，且與各積層厚度成反比，為了獲得高容值的電容器，材料的尺寸、堆疊層數與積層電極厚度都須嚴格控制，也因此，MLCC的製程技術門檻相對於其它被動元件要高上許多。目前，在MLCC產業的發展上，日韓居於前端，台系廠商則緊追在後，近年來中國廠商也開始加入此產業的競爭行列。為了提高產品的電容值以及提升可靠度，在鈦酸鋇晶體結構中摻雜異種元素，可用來提高陶瓷的介電常數及耐溫範圍；摻雜稀土元素於鈦酸鋇結構中，也是用來改善積層陶瓷的燒結行為及可靠度性質的方式之一。除此



國巨懶人包

之外,鎳電極與介電層之堆疊層數也決定了MLCC的電容值,現今的生產技術已可做到高達1500個積層之多。為了做到如此高層數,每層介電層材料厚度必須小於 $0.5\mu\text{m}$,此時使用奈米級、且分散良好的陶瓷粉末便成了最重要的技術關鍵。

高階電容技術的發展方向不僅是提高電容值,更迫切的是在高電容值的條件下將電容器的尺寸縮得更小。現在的電容器尺寸已經可以縮小到比頭髮的直徑更小,如蘋果手錶等小型穿戴型電子產品便是使用這樣微小的電容器。另一方面,因應電動車以及IoT(物聯網)等科技發展,未來MLCC將朝向高溫、高電壓及高可靠度的產品發展。MLCC應用到許多陶瓷工程的技術,包括粉體分散、漿料印刷、積層鍍膜技術、陶瓷燒結等,生產成本的降低以及產品良率的控制將是未來MLCC產業勝負的關鍵。

國巨於1977年成立,創辦人及董事長陳泰銘先生為成功大學校友。國巨為國內被動元件產業的龍頭廠商,生產的電阻器在全球市場中市佔率位居首位,在2000年併購飛利浦(Philips)全球被動元件事業部之後,帶領MLCC電容器擠身世界前三大生產廠商,同時也帶動了台灣被動元件產業的躍進。國巨於2018年併購美商通訊元件大廠普思(Pulse)電子,正式跨入車用電子與無線元件等領域,擴展MLCC的應用。國巨公司在2018年的營業額約770億台幣,全球員工約15,000人,電容及電阻研發中心及生產主要在高雄,並且於中國蘇州及東莞有生產基地,銷售據點遍及全球,為國際化的被動元件大廠。國巨公司近期也獲得經濟部「歡迎台商回台投資行動方案」核准專案貸款,將在台投資設立全球研發中心及高階產品生產基地,秉持根留台灣、布局全球的企業策略,未來也將善用台灣優異的研發技術、完善的產業聚落及供應鏈,建立永續經營的實力。

科技產品的綠葉--被動元件

文/蘇哲儀

個人簡歷

蘇哲儀 博士

資源系84級

飛利浦(Philips)建元電子, 研發工程師

國巨股份有限公司 積層陶瓷事業部, 研發部部門經理

德國 Forschungszentrum Jülich, Visiting Scientist

美商 Bourns Electronics 消費電子事業部, 資深研發處長

材料的分類, 依據化學成份與原子鍵結的形式可大致區分為金屬材料、陶瓷材料、以及高分子材料。其中陶瓷材料指的是金屬的氧化物、硼化物、碳化物、氮化物或以上成分的混和物或化合物。陶瓷材料以鍵結能較高的共價鍵、離子鍵為主, 因此之故, 陶瓷材料普遍具有高熔點、高硬度的物理特性, 非常適合作為高溫耐火材、切削研磨工具等工業應用。每當提到陶瓷, 許多人會立刻聯想到鍋、碗、瓢、盆等傳統陶瓷。事實上, 隨著原料純度的提高以及加工、生產技術的精進, 現代的精密陶瓷已是高科技產品中無可取代的一部分了。

台灣過去幾十年來積極地發展半導體產業, 使得「半導體」彷彿成了台灣電子業的代名詞, 但若將半導體看作電子業的全部, 那就太過狹隘了。當您拆開身旁唾手可及的電子用品, 如手機、電腦、家電...等, 會發現電器內部的電路板上佈滿密密麻麻的貼焊元件 (Surface mount component), 這些元件裡除了以半體體材料為主的主動元件之外, 還佈滿了各式各樣的被動元件。大量存在我們生活周遭、卻長期被忽視的被動元件, 一直到2017年開始, 因5G、電動車、物聯網等新興產業的興起, 使得被動元件的需求量瞬間大增, 造成市場上出現供需失調的大缺貨現象。此一缺貨風潮促使國內一些被動元件廠家的股價紛紛攀上了歷史的高峰, 小小不起眼的被動元件才又再次引起世人關注的眼光。

所謂的「被動元件」，是相對於「主動元件」所命名的，兩者主要的區別在於，是否需要外加的電源供應來驅動元件，使其能夠發揮功能。主動元件需要額外的電源供應（通常為直流電源）才能運作；被動元件則相反，它不需要額外的電源供應就能在電路上發揮其特定的功能。

大家都聽過的積體電路（Integrated Circuit，簡稱IC），便是利用一連串複雜的製程，將具有各種功能的主動、被動元件製作於矽晶圓基板上，並將各元件相互連接起來形成完整的邏輯電路，如此形成的單顆晶片(chip)，便可用來作為電子設備的控制器、處理器，而具有記憶功能的晶片即為廣為人知的記憶體。IC是我們身邊所有3C產品的心臟，電路的設計決定了3C產品的功能，而組成這個邏輯電路的各個主動、被動元件，則決定了這顆3C心臟的功率效能。雖然積體電路本身包含了主動及被動元件，然而因為大部分的積體電路都需要額外的電源供應來驅動，因此在分類上視為主動元件。

被動元件中的陶瓷材料

被動元件中，最常見的就是電容、電阻、電感了，其中在市場應用需求最大的積層陶瓷電容（MLCC, multilayer ceramic capacitor）、晶片電阻（chip resistor）、以及繞線電感（wire wound）以及變壓器（transformer），這些被動元件都大量採用了氧化物陶瓷材料。以下就針對幾項以陶瓷材料為主的被動元件類型進行介紹：

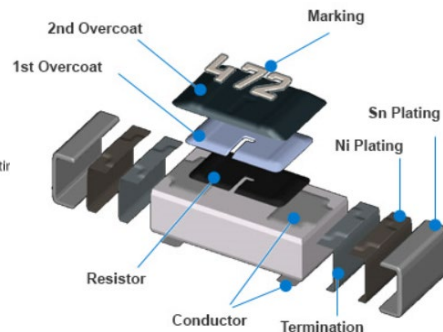
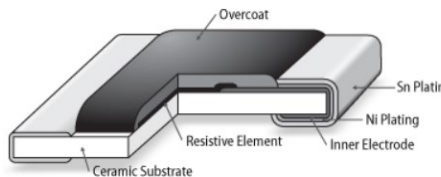
電容

「電容器」是在定電壓下具有儲存電荷能力的元件，相較於電池，電容器具有瞬間充放電的特性。在電子電路中，電容器能隔斷直流訊號而允許交流訊號通過的特性，利用這樣的特性電容器具有濾波、耦合、去耦合、旁路等作用。時下最常見的電容元件模式就是積層陶瓷電容（Multi-layer Ceramic Capacitor, MLCC）。積層陶瓷電容的主要成份是具有鐵電（ferroelectric）特性的鈦酸鋇（ BaTiO_3 ），依據產品需求添加少量陶瓷材料如氧化鎂、氧化錳及稀土氧化物等，使電容性能更加提升。

電阻

電阻器是泛指所有可以產生電阻的元件，主要作用是用來控制特定電壓下的電流量。為了獲得輕薄短小的電阻器，目前市場的趨勢是朝向「晶片電阻」的方向發展。晶片電阻是將電阻材料以厚膜或薄膜的形式塗佈在陶瓷氧化鋁（ Al_2O_3 ）基板上，在氧化鋁基板上以厚膜（Thick film）或薄膜（Thin film）製程，將金屬材料塗佈於氧化鋁基板後，再覆蓋一層玻璃質保護層，經過燒結及後續加工，即為晶片電阻。

Chip Resistor YAGEO Resistor



<http://www.yageo.com/NewPortal/yageo?service=mlcc&layer2=General%20Purpose&lang=tw>

<https://www.bourns.com/products/fixed-resistors/thick-film-chip-resistors>

<http://www.samsungsem.com/global/product/passive-component/chip-resistor/general-resistor/index.jsp>

電感器

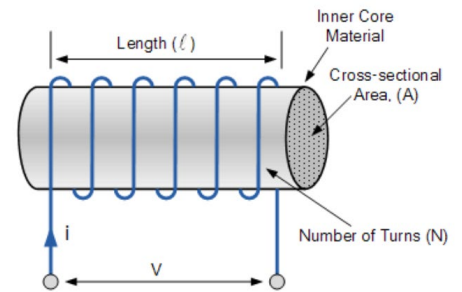
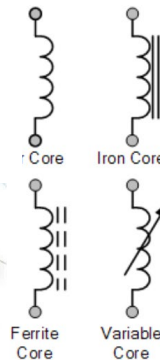
電感器是用來將電能轉換成為磁能的元件，主要成分是具有軟磁（soft magnetic）特性的材料，如錳鋅鐵氧體(Mn-Zn ferrite, $MnxZn(1-x)Fe_2O_4$)、鎳鋅鐵氧體 (Ni-Zn ferrite, $NixZn(1-x)Fe_2O_4$) 等陶瓷氧化物。所謂的軟磁材料，指的是在外加磁場作用下可立刻被磁化，而當外加磁場作用消失時，磁化也會立即消失。隨磁場作用而變化快速變化的特性，是作為電感材料的應用指標。當一電流量通過電感器時，會隨之產生磁場，同時在電流的反方向生成一感應電流，此感應電流與原先的電流方向是相反的，因此可視為一種電流阻抗，由電感所產生的阻抗又稱為「感抗」。感抗在交流電通過時會特別明顯，尤其是高頻交流訊號通過電感器時會產生很大的阻抗，使得高頻訊號難以通過；也因此電感器的主要作用就是過濾交流電，僅使直流電得以通過。當電感與電容、電阻搭配使用時組成所謂的諧振電路，能讓讓特定頻率的訊號通過而其他頻率的訊號衰減，即俗稱的濾波器。

Inductor

YAGEO



Inductor Symbols



高頻元件

傳統印刷線路板 (PCB, Printed circuit board) 板材是由玻璃纖維(glass fiber)以及環氧樹脂 (Epoxy) 組成的絕緣材料，此類型的板材稱為FR4。相較於FR4，陶瓷材料具有更高的介電常數 (Dielectric constant)、高品質因子 (Quality factor)、優異的熱傳導性，以及良好的溫度穩定性 (較小的共振頻率溫度係數)。因此在高頻微波通訊元件的應用上，多改用陶瓷材料來取代傳統FR4。濾波器 (Filter)、雙工器 (Diplexer)、天線 (Antenna) 等都屬於高頻微波通訊元件。目前產業的發展方向，是朝向降低元件尺寸縮小同時降低元件的插入損耗 (Insertion loss) 發展，以便應用在越來越迷你的手持式裝置或穿戴式裝置上。除了相對優異的微波介電特性之外，陶瓷基材也具有良好的熱傳導特性，對於散熱需求更高的第五代行動通訊系統，採用陶瓷基材來製作5G的通訊元件有絕對的優勢。

電路保護元件(circuit protection)

電路保護元件的主要功能，是用在保護電子產品內部電路及元件，當輸入電流或電壓因異常狀況發生而導致超過可容許的工作電流、工作電壓時，保護元件在此時便能發揮作用，即時阻斷電流、或將過高的電壓下降至系統設計的安全值，達到保護的作用，避免火警的發生或對操作人員造成傷害。電路保護元件依功能來大致區別可分為過電壓保護 (Over-voltage protection)、過電流保護 (Overcurrent protection)、以及過溫度保護 (Over-temperature protection) 三種。代表性的過電壓保護元件，是使用金屬氧化物壓敏電阻 (Metal oxides varistor, MOV) 以及陶瓷氣體放電管 (Gas Discharge Tube, GDT)。所謂的壓敏電阻，是電阻值會隨所施加的電壓大小而改變的金屬氧化物。常見的金屬氧化物壓敏電阻原料是半導性的陶瓷材料氧化鋅 (ZnO)，並添加部分氧化銻，氧化鉍，氧化鈷等金屬氧化

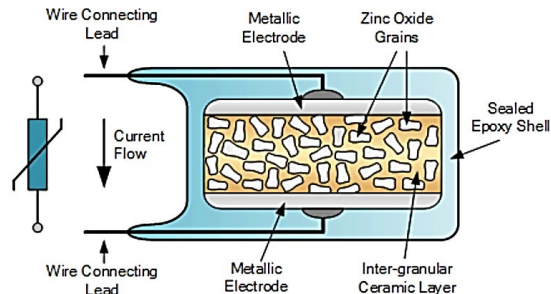
物，經加工成型、燒結後而成的多晶（Polycrystalline）半導體陶瓷元件，它具有良好的脈衝能量（Impulse energy）吸收能力，可廣泛應用於電力電子系統的暫態過電壓保護（Transient overvoltage protection）。壓敏電阻在電路使用上，平時是保持高阻抗低漏電流的狀態，而當雷擊或其他狀況造成的突波或靜電放電（ElectroStatic Discharge, ESD）發生時，壓敏電阻會因瞬間產生的高電壓轉變成低阻抗的導電路徑，將電流引導至接地端，達到保護電力電子系統免受高電壓的破壞的效果。

陶瓷氣體放電管（Gas discharge tube, GDT）則廣泛應用作為防雷過壓保護元件。GDT的製作方式是在陶瓷管(例如氧化鋁陶瓷管)內填充惰性氣體（如氬氣、氖氣），在陶瓷管開口部分以金屬電極焊接閉合，將所填充的惰性氣體密閉封裝於陶瓷管內。而藉由填充氣體的種類、填充的氣體壓力、電極的幾何形狀設計，以及電極間距等參數控制，來調整陶瓷氣體放電管的特性。在正常情況下，由於鈍氣的特性，使得GDT是處於短路狀態的，對電路運作並不產生影響，而一旦電路中出現瞬間的高電壓衝擊時，GDT內的氣體會因電壓衝擊而發生輝光放電（Glow discharge）現象，原先不導電的鈍氣會因氣體游離的緣故瞬間變得導電，使得電流得已通過GDT接地。此一裝置可避免電路中的設備受到瞬時高壓的破壞，達到保護的作用。

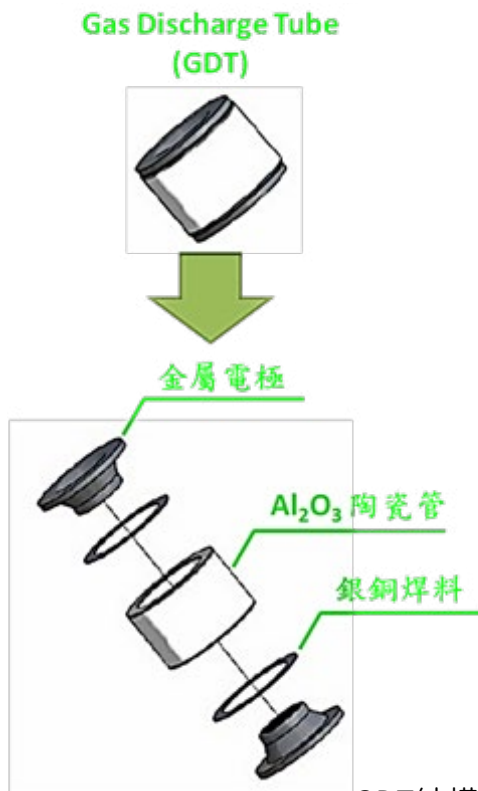
MOV

Bourns MOV

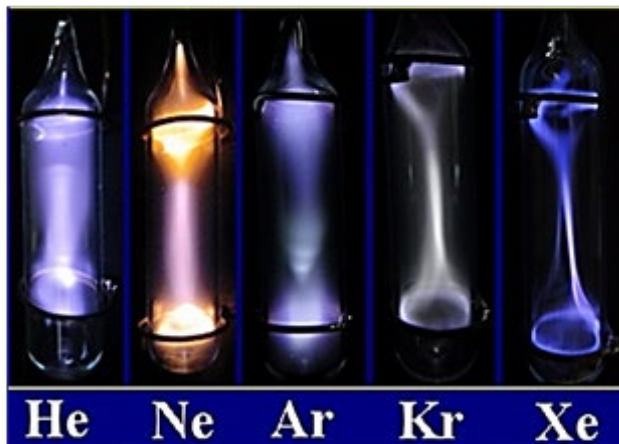
Metal Oxide Varistor Construction



GDT Construction



各種惰性氣體元氣在電場激發時的輝光放電現象



Reference:

主族元素, 延陵科學綜合室

(<http://www.ngensis.com/NGE/0.htm>)

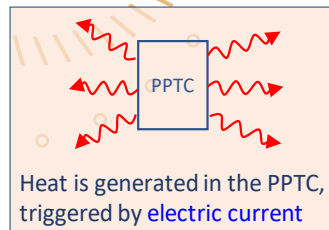
GDT結構&輝光放電示意圖

過電流保護元件

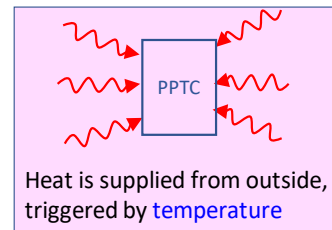
過電流保護元件為具有正溫度係數（Positive Temperature Coefficient, PTC）的熱敏電阻（Thermistor）。「熱敏電阻」的特性是它的電阻值會隨著電流值的增加而升高，當突發事件發生而導致電路的溫度上升時，熱敏電阻的電阻也會急遽升高、進而限制了電路中的電流量。傳統保險絲（Fuse）或斷路器（Breaker），是讓電路在過高的電流衝擊下形成開路(open circuit)的方式來阻斷電流，而熱敏電阻的作用並非讓電路形成開路，而是將電流限制在很低的值而已，狀況解除之後電路可立即恢復運作，不需像一次性保險絲一樣需要更換保護元件。另一方面，PTC熱敏電阻除了可做為過電流保護元件之外，也同時具有過溫的保護功能。

前面提到的正溫度係數熱敏電阻，依材料種類的不同，又可再進一步區分為陶瓷型正溫度係數熱敏電阻（Ceramic positive temperature coefficient thermistor, CPTC），與聚合物型正溫度係數熱

PTC



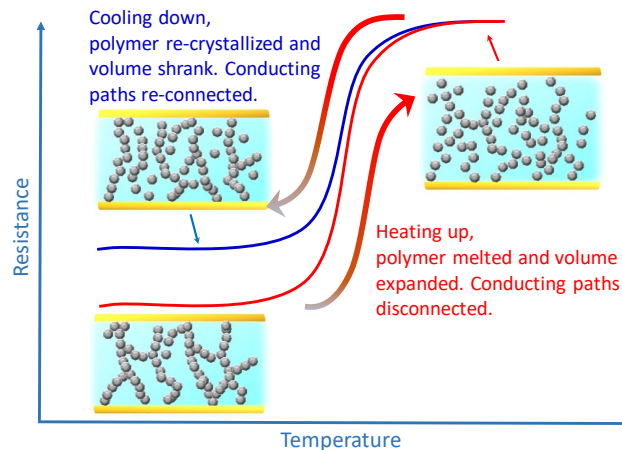
SMD type



SM type



Polymer Positive Temperature Coefficient Resistor



敏電阻 (Polymeric positive temperature coefficient thermistor, PPTC)。陶瓷材料一般是具有高電阻的優良絕緣體，而CPTC的主原料與積層陶瓷電容一樣都是使用鈦酸鋇粉末作為主原料，再額外添加施體 (donor) 元素，如Y、Nb、Bi、Sb，使它由絕緣體轉換為N型半導體陶瓷，藉此降低其於室溫下的電阻值。另一方面，在鈦酸鋇添加Sr、Sn、Pb等高電價元素則可用來調整鈦酸鋇的居禮點 (Curie point)。CPTC在居里點以下具有低電阻特性，且隨著元件溫度升高到達居里點附近時，電阻值會急劇地增大，呈現高電阻狀態，表現出了陶瓷材料的PTC效應。聚合物型正溫度係數熱敏電阻，則是使用結晶 (Crystalline) 或半結晶型 (Semi-crystalline) 高分子聚合物為基礎材料，如高密度聚乙烯 (High density polyethylene, HDPE)，在上述高分子聚合物中摻入導電粒子，如碳黑(carbon black)、鎳金屬粉、半導體陶瓷粉碳化鈦、氮化鈦、碳化鎢等，再經高溫熔融、混煉、擠出成型(extrusion) 等程序加工而成。在正常的使用狀態下，導電粒子在聚合物基質(matrix)內相互連通形成導電路徑，因此表現出低電阻特性，而一旦電路上有異常的大電流產生或環境溫度升高至超過高分子聚合物的熔點時，結晶的高分子聚合物會融化成非晶質，此時因聚合物體積膨脹的緣故，原本導電粒子所形成的的導電通路會被阻斷，導致電阻值立即上升而阻止電流上升，藉此保護電路免受過電流的損壞，在溫度回復至正常狀態時，非晶質的聚合物基質會再次結晶，導電粒子會再次形成相互連通的導電路徑，回到低電阻狀態，因此PPTC也稱作自恢復保險絲(resettable fuse)。

結語

各式電子產品中的主動元件固然是眾所注目的焦點，但它們身旁的眾多被動元件在光環之外默默地緊守崗位，對於產品的性能依舊功不可沒。陶瓷材料在被動元件的應用已行之有年，然而隨著材料技術的發展，新材料不斷的被創新、開發，加上生產設備及製造技術日新月異，未來仍有無限量的發展空間。許多過去的不可能做到的技術，在今日已變得理所當然，可以預見的，今日無法想像的科技在未來也可能被實現。隨著諸多新興產業5G、物聯網、車聯網、電動車等的快速發展，加上每當有新一代的電子產品推出，都將引領一波波對被動元件需求的快速成長，被動元件產業絕對值得更多資源的投入，也需要更多優秀人才的投入，加速推動被動元件相關科學技術的前進。

