

砷化銮鋁鎵/磷化銮複合式集極層結構之磷化銮/砷化銮鎵雙異質界面雙極性電晶體

陳梓斌¹、鄭岫盈²、陳瑋鑫¹、洪慶文¹、朱桂逸¹、陳利洋¹、蔡宗翰¹、劉文超^{1,*}

¹國立成功大學電機工程系、微電子工程研究所

²國立宜蘭大學電子工程系

wcliu@mail.ncku.edu.tw

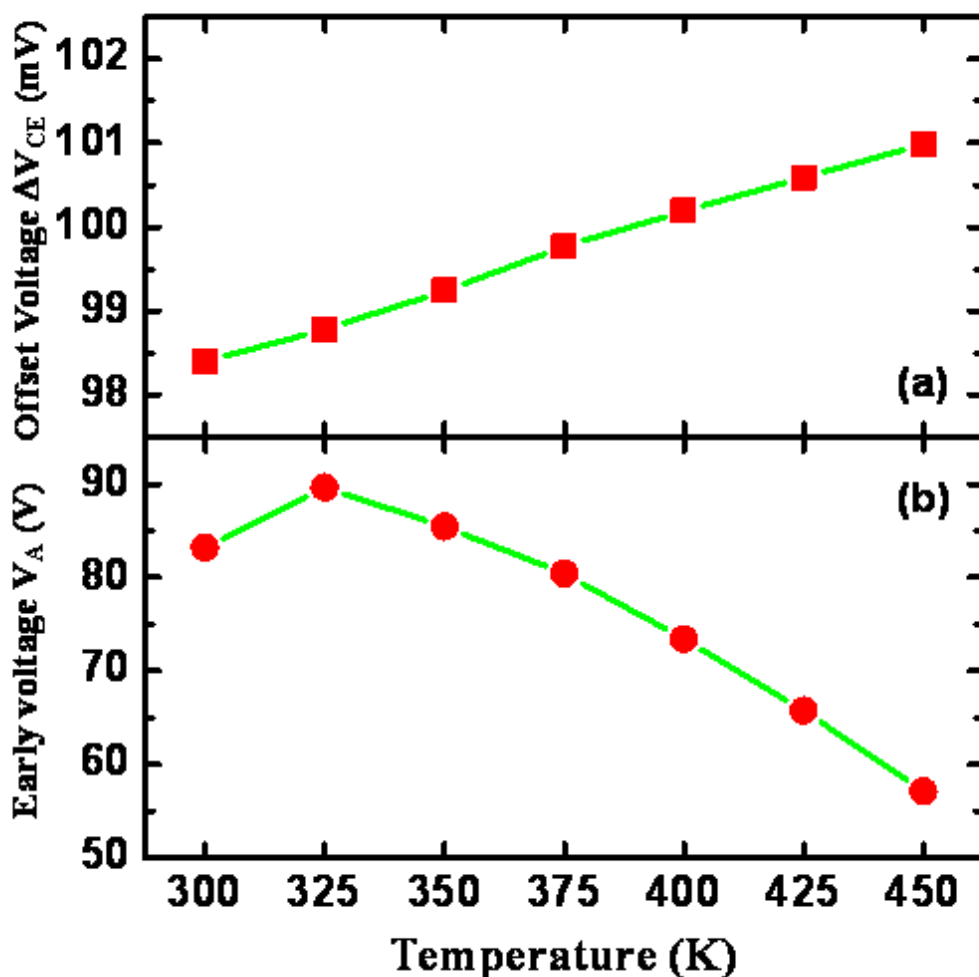
Journal of The Electrochemical Society 155, H136-H139 (2008).

近幾年來，異質界面雙極性電晶體在高頻、低功率與微波電路上之應用已引起相當大的注意。然而基於高衝擊離子化率之窄能隙砷化銮鎵基極層，這些具有磷化銮集極結構之傳統異質界面雙極性電晶體由於低的崩潰電壓與高的輸出電導限制了在功率上之應用。雖然崩潰特性的改良可透過使用寬能隙磷化銮層作為雙異質界面雙極性電晶體之集極層，然而在基-集界面導電帶不連續將導致不受歡迎的電流阻檔效應。為了克服此缺點，一些研究團隊已提出報告並建立高性能異質界面雙極性電晶體。這些改良式結構包含複合式集極結構與漸變層結構，例如包含砷化銮鋁鎵連續漸變層之磷化銮/砷化銮鎵雙異質界面雙極性電晶體的砷化銮鎵/砷化銮鋁鎵CSL結構。另一方面，具有步階式磷化銮鎵集極層結構之磷化銮/砷化銮鋁鎵雙異質界面雙極性電晶體也已公諸於世。



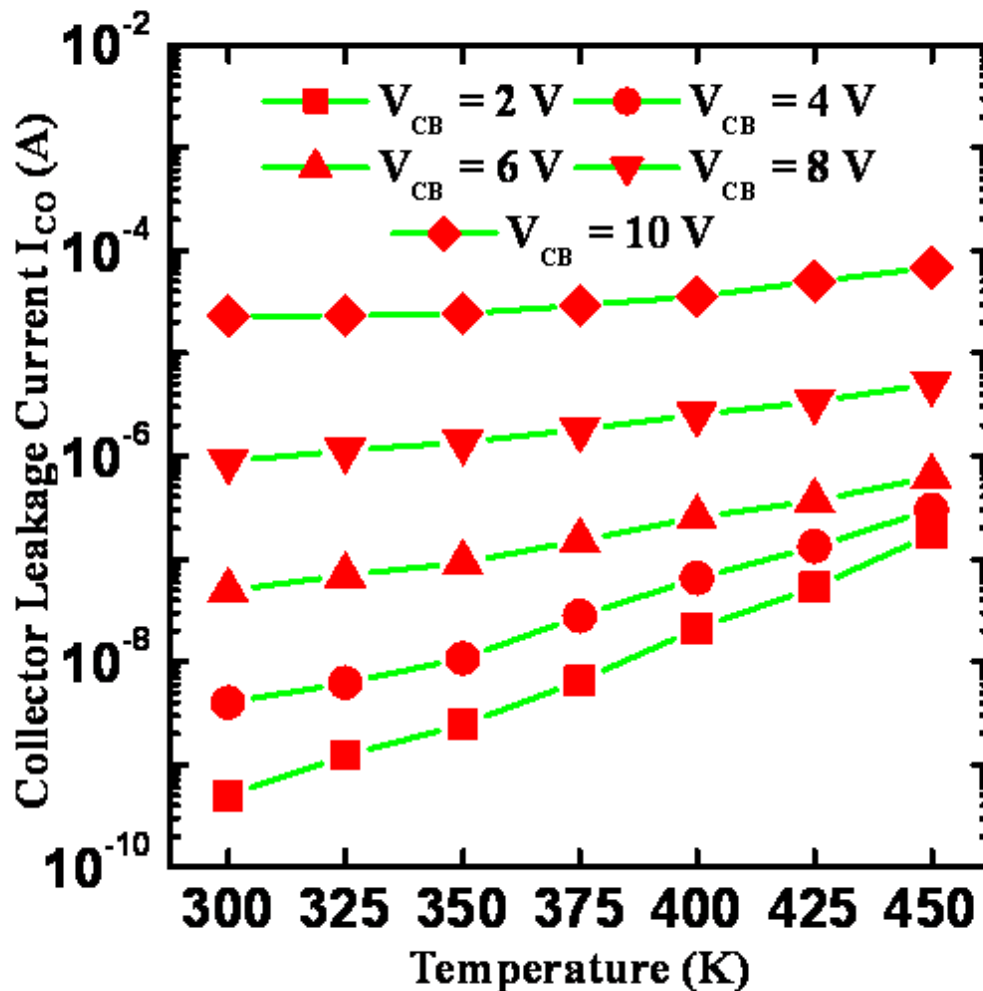
在本文中，吾人將提出一具有砷化銮鋁鎵/磷化銮複合式集極層之磷化銮/砷化銮鋁鎵雙異質界面雙極性電晶體。在此結構中，複合式集極層包含砷化銮鎵背置層、步階式結構、與磷化銮層。此外，此步階式結構主要係於基極層與集極層間導入一四元化合物砷化銮鋁鎵材料，相較於磷化銮鎵材料系統，砷化銮鋁鎵材料系統具有較寬廣的能隙調變範圍。由於使用此一砷化銮鋁鎵/磷化銮複合式集極層，不受歡迎的電流阻檔效應可予有效的消除，此外，崩潰特性也可改進。

圖一(a)顯示為集-射極補償電壓與溫度之關係圖。補償電壓定義為集極電流為零時之集-射極電壓，其基極電流為固定於20微安。當溫度從300增加至450 K時補償電壓從98.4毫伏稍微增加至100.98毫伏。所研製之元件呈現較低之補償電壓，甚至當溫度增加至450 K時亦具有相同特性。較小補償電壓將導致較低的功率消耗，在實際的電路應用上頗為重要。另一方面，輸出電阻特性，可以用爾利電壓(Early Voltage)來描述。圖一(b)顯示所研究元件之爾利電壓與溫度之關係圖，其基極電流保持為100微安。實際上，當衝擊離子化開始時，砷化銮鎵系列元件之操作區間不易決定。特別是在較高的周遭環境溫度下，輸出電導的增加與崩潰電壓的減少將導致電流操作區間的減少。本元件爾利電壓顯著地高於具有砷化銮鎵集極或砷化銮鎵/磷化銮鎵複合式集極之磷化銮/砷化銮鋁鎵異質界面雙極性電晶體至少四倍。這主要歸因於較低之倍增因子值，其來自於本元件所具有較高之有效能隙之砷化銮鋁鎵/磷化銮複合式集極層結構。



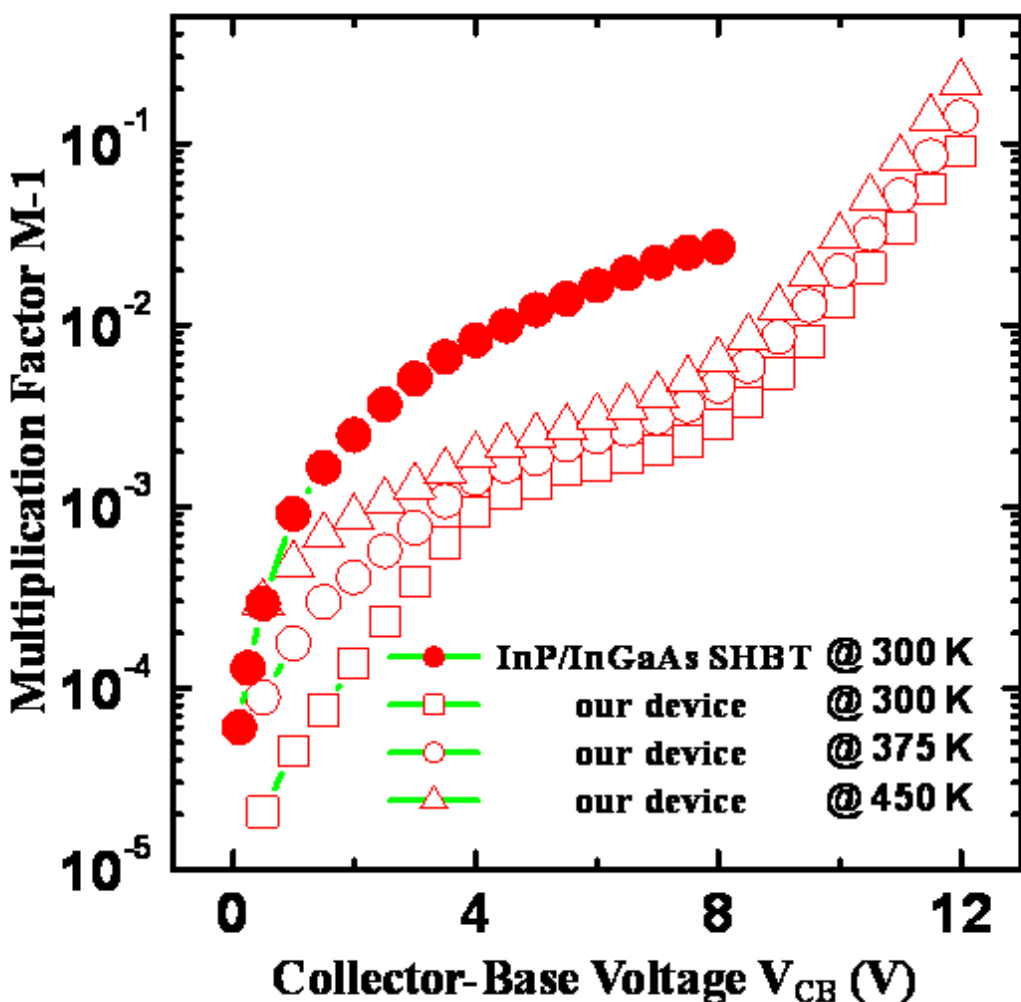
圖一、(a)集-射極補償電壓與溫度之關係圖(b)在不同溫度下之爾利電壓。

圖二為在不同集-基極反偏壓下，集極漏電流與溫度之關係圖。一般而言，集極漏電流實質上與集-基極結構有關。從實驗結果得知，集極漏電流呈現正溫度係數之特性。在較低的反偏壓區域中(集-基極電壓小於6伏)，集極漏電流值小於具有砷化銻鍍集極與砷化銻鋁鍍集極之磷化銻/砷化銻鍍異質界面雙極性電晶體。而在較高的反偏壓區域中(集-基極電壓大於6伏)，由於雪崩效應影響，可得到一強烈的偏壓相依性。因此，集極漏電流顯著地增加。而當溫度增加時，衝擊離子化現象變得重要並導致集極漏電流快速地增加。更進一步而言，增加的集極漏電流將引起實質的雪崩效應並導致崩潰電壓的減少。



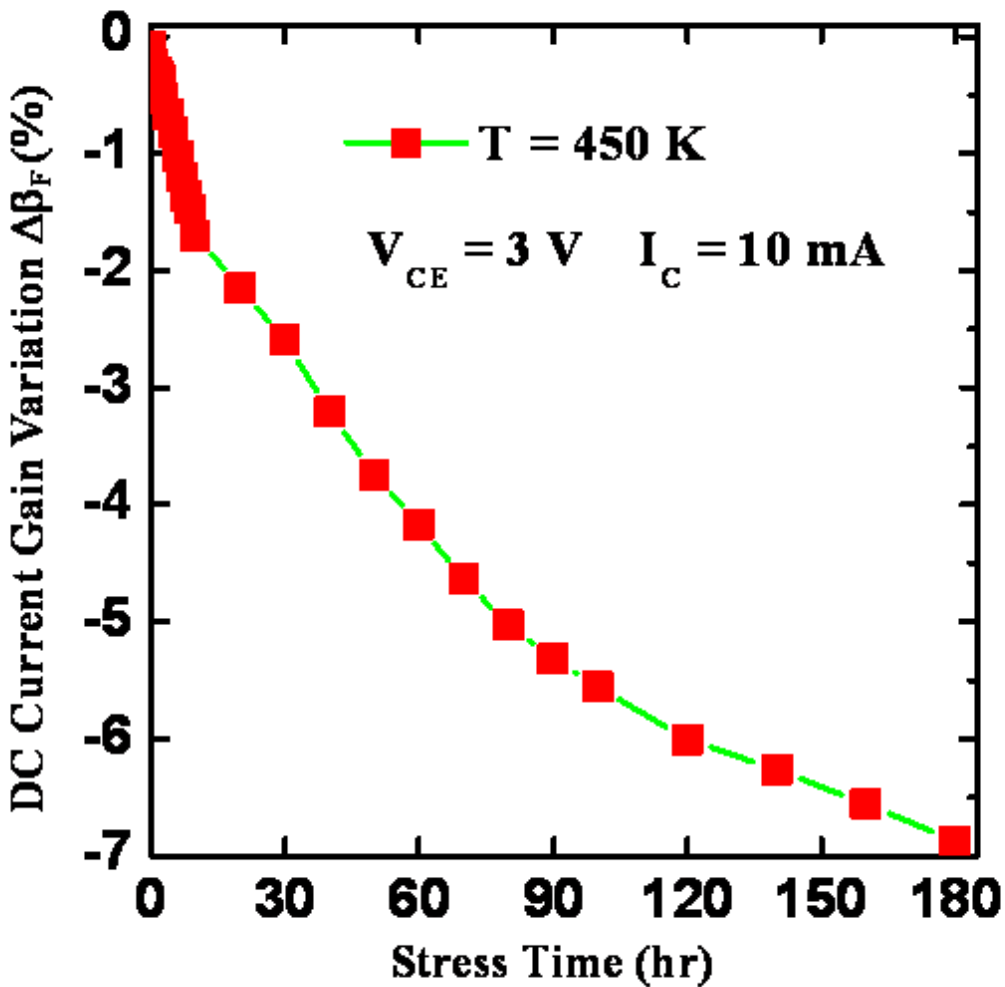
圖二、在不同集-基極偏壓下集極漏電流與溫度之關係圖。

圖三說明在本元件在不同溫度下，倍增因子與集-基極偏壓之關係圖。為了比較，具有砷化銦鎵集極之磷化銦/砷化銦鎵單異質界面雙極性電晶體之特性也包含其中。如圖三所示，倍增因子值隨著集-基極偏壓與溫度之增加而增加。當集-基極偏壓從2伏至8伏時，本元件之倍增因子值比具有砷化銦鎵集極之磷化銦/砷化銦鎵異質界面雙極性電晶體約低兩個數量級。由此顯示藉由砷化銦鎵/磷化銦複合式集極層結構之使用，在基-集極空乏區內雪崩效應將可實質地被抑制。較低的倍增因子值是由於砷化銦鎵/磷化銦複合式集極層結構與一較厚之磷化銦層所具有之有效較高能隙所引起。因此，在集極結構中，倍增因子值主要是由磷化銦層所主宰。基於在本集極結構具有相對較厚之磷化銦層，與具有砷化銦鎵集極之磷化銦/砷化銦鎵單異質界面雙極性電晶體相比，本元件因具有較低之倍增因子值而可改善崩潰特性。



圖三、本元件在不同溫度下，倍增因子與集-基極偏壓之關係圖。磷化銦/磷化銦鎵單異質界面雙極性電晶體之特性亦包含於圖內作比較。

直流電流增益變化量與施加應力時間之關係圖如圖四所示，所加之應力條件為集極電流等於10毫安，集-射極偏壓固定在3伏，且溫度固定於450 K。在經過180小時壽命測試後，本元件直流電流增益從初始值下降百分之6.89。實驗發現，偏壓應力可能引起基極電流的增加，這當然導致直流電流增益的減少。明顯地，本元件在應力測試中呈現較低的直流電流增益變化量。熱載子在射-基極與基-集極界面周圍所引起的破壞，可能是由於在偏壓應力期間所增加的基-集極界面漏電流與直流電流增益減少之原因。因此，由圖四可知，具有砷化銦鋁鎵/磷化銦複合式集極層結構之本元件呈現出較佳之熱穩定性與可靠度。



圖四、直流電流增益衰減量與所加應力時間之關係圖。所施力之應力條件為集-射極電壓為3伏、集極為10毫安。

綜合言之，本文探討一具有砷化銻鋁鎵/磷化銻複合式集極層之磷化銻/砷化銻鎵雙異質界面雙極性電晶體之特性。實驗上，與之前有關異質界面雙極性電晶體文獻相比較，本元件呈現相對較低的爾利電壓、較低的補償電壓，較小的集極漏電流，較低的倍增因子與較佳的可靠度特性。因此，本文所研製之磷化銻/砷化銻鎵雙異質界面雙極性電晶體元件在功率與高溫電路之應用頗具潛力。