

新世代元件-我國碳化矽元件發展策略

**The Strategy Plan for Silicon Carbide Devices
Development in Taiwan**

作者：楊雅嵐
江柏風

委託單位：經濟部技術處

執行單位：財團法人工業技術研究院

產業經濟與趨勢研究中心

中華民國九十九年八月

摘要

在 2008 年至 2009 之際，全球經濟正面臨金融風暴的席捲，而此同時，全球的氣候也正面臨嚴峻的挑戰，層出不窮的各種氣候異象，使得全球產業由生產製造端到消費端均開始密切關注節能環保的相關議題。根據國際能源署(International Energy Agency ; IEA)所發布的 2009 年世界能源展望(World Energy Outlook ; WEO)資料中指出，由於全球溫室氣體排放來源中 65% 來自能源的生產、傳輸與使用，能源是全球溫室氣體排放的主要來源，也是造成全球天候異常的元兇，從能源部分的相關改善措施下手刻不容緩，而目前所採取的方案則是集中火力於低碳科技上的相關投資。

隨著環保意識的抬頭，全球半導體產業則聚焦在提高產品效率、降低功耗、減少材料使用等相關技術之投入，以達到CO₂排放減量之目的。另一方面，各國政府大力推動更強調節能環保訴求的電動車輛、再生能源系統發展，帶出更高規格的元件需求。碳化矽(Silicon Carbide ; SiC)元件則由於具備高導熱特性，加上其材料的寬能隙(Wide Band Gap)特性可耐高壓、可承受大電流，適合應用在高溫操作的功率元件領域，而在近期受到較為熱切的關注。

本研究透過近期碳化矽元件發展狀態，了解碳化矽元件主要應用領域及主要應用系統對元件之需求趨勢，並就目前全球碳化矽供應狀態進行一全面整理研究。此外針對日本、歐洲、美國與中國大陸對於碳化矽元件及相關應用系統之發展進行策略盤點，以為我國發展策略之參考；最後則回顧我國半導體產業發展，奠基我國產業優勢提出在碳化矽元件上的發展策略。

Abstract

As the global CO₂ emission increasing, the climate is changing. According to the WEO 2009 (World Energy Outlook 2009) report published by IEA (International Energy Agency), the CO₂ emission was generated from energy by 65%. Improving the energy efficiency has become the most important issue to meet the goal of decreasing CO₂ emission.

For reducing the energy consumption, the plans of EV/HEV adoption and renewable energy system construction were promoted by governments of U.S., Japan, Europe and China. As EV/HEV and renewable energy system will have some different requirements for power electronics, the wide band gap materials such as silicon carbide (SiC) and gallium nitride (GaN) have been discussed widely during recent years. Due to the excellent material properties of SiC such as wide energy gap, high breakdown voltage and high operating temperature, SiC power devices were introduced to be used for the inverter of EV/HEV.

This thesis will introduce to the development status of SiC devices, and discuss the driving force of adopting SiC devices by different application systems. And this thesis will also make an analysis through the supporting projects and development strategies from U.S, Europe, Japan and China, and come out the suitable plan and strategy for developing SiC devices in Taiwan.

目 錄

第一章	緒 論	1-1
	第一節 研究目的	1-4
	第二節 研究方法	1-5
	第三節 研究架構	1-6
第二章	碳化矽元件概述	2-1
	第一節 碳化矽元件發展近況	2-1
	第二節 碳化矽元件簡介與價值鏈概述	2-5
	第三節 碳化矽元件材料特性比較	2-11
	第四節 小 結	2-16
第三章	從主要應用領域需求看碳化矽元件發展機會	3-1
	第一節 碳化矽元件應用市場概況	3-1
	第二節 LED 照明應用領域	3-6
	第三節 功率元件應用領域	3-34
	第四節 小 結	3-60
第四章	全球碳化矽元件供應與發展狀態	4-1
	第一節 各國發展狀態與策略	4-1
	第二節 全球供應鏈	4-13
	第三節 小 結	4-18
第五章	台灣碳化矽元件發展機會與策略	5-1
	第一節 台灣發展碳化矽元件之產業環境分析 ...	5-2
	第二節 台灣切入發展之重要性與效益	5-7
	第三節 台灣碳化矽元件發展策略與切入途徑 ...	5-8
	第四節 其他衍生關鍵議題	5-10
第六章	結論與建議	6-1

圖目錄

圖 1-1	全 球 CO ₂ 排 放 來 源 分 類 與 預 測	1-2
圖 1-2	電 動 車 輛 的 推 行 對 於 全 球 CO ₂ 排 放 改 善 具 重 大 效 益	1-3
圖 1-3	研 究 架 構	1-7
圖 2-1	碳 化 矽 基 板、功 率 元 件 與 模 組 系 統 近 期 發 展 狀 態	2-4
圖 2-2	碳 化 矽 特 性 與 應 用 簡 介	2-6
圖 2-3	碳 化 矽 元 件 價 值 鏈	2-7
圖 2-4	Si/SiC/GaN 元 件 材 料 特 性 比 較	2-12
圖 2-5	碳 化 矽 晶 體 結 構 示 意 圖	2-13
圖 3-1	2009 年 碳 化 矽 相 關 元 件 市 場 與 廠 商 分 佈	3-4
圖 3-2	全 球 照 明 市 場 與 LED 照 明 市 場 比 重 預 測	3-10
圖 3-3	2000~2009 年 全 球 HB LED 市 場 趨 勢	3-11
圖 3-4	全 球 LED 照 明 市 場 成 長 趨 勢 與 產 品 比 重	3-12
圖 3-5	LED 發 光 效 率 改 善 趨 勢	3-13
圖 3-6	LED 單 位 成 本 發 展 趨 勢	3-13
圖 3-7	全 球 HB LED 市 場 預 測	3-14
圖 3-8	Haitz Law—LED 效 能 與 成 本 關 聯	3-15
圖 3-9	LED 順 向 導 通 電 流 與 熱 阻 抗 發 展 趨 勢	3-15
圖 3-10	高 亮 度 高 功 率 LED 散 熱 課 題	3-16
圖 3-11	LED 基 板 材 料 之 熱 膨 脹 與 晶 格 常 數 分 佈	3-19
圖 3-12	晶 能 光 電 Si 基 板 高 功 率 GaN LED	3-21
圖 3-13	LED 基 板 材 料 與 成 本 分 析	3-22
圖 3-14	LED 生 產 成 本 結 構 趨 勢	3-23

圖 3-15 LED 燈泡與傳統燈泡零售價格趨勢比較.....	3-23
圖 3-16 LED 照明價格與效率改善	3-25
圖 3-17 CREE 發展歷史與佈局狀態	3-30
圖 3-18 OSRAM HB LED 產品發展	3-32
圖 3-19 Lumileds TFFC LED	3-33
圖 3-20 功率半導體分類與定位	3-35
圖 3-21 功率半導體市場規模預測	3-36
圖 3-22 ISPSD 2010 論文類別與數量統計	3-37
圖 3-23 功率電晶體市場產品比重	3-38
圖 3-24 MOSFET 市場產品比重	3-39
圖 3-25 電力電子系統電力損耗狀況	3-40
圖 3-26 矽元件應用極限與碳化矽元件應用範圍	3-41
圖 3-27 Si/SiC/GaN 元件極限與目前發展效能比較	3-43
圖 3-28 電力電子系統應用操作溫度需求與 Si/SiC 元件極限	3-44
圖 3-29 SiC 元件極限與目前發展效能比較	3-45
圖 3-30 SiC 元件應用系統比重分佈趨勢	3-46
圖 3-31 Si 元件與 SiC 元件 PFC 應用效率比較	3-50
圖 3-32 Si 元件與 SiC 元件 PFC 應用尺寸比較	3-50
圖 3-33 全球電動車輛銷售市場預測	3-53
圖 3-34 日系車廠與功率元件廠商 SiC 元件及模組合作計畫	3-54
圖 3-35 SiC MOSFET 與 IGBT 在 PV Inverter 應用效能比較	3-56
圖 3-36 全球主要功率元件供應商與新材料元件技術投入概況	3-58
圖 3-37 Mitsubishi Electric SiC 功率元件開發規劃	3-59
圖 4-1 全球 CO ₂ 排放情境比較	4-2

圖 4-2	DARPA 計畫支援 ZMP 與大尺寸 SiC 基板發展	4-3
圖 4-3	WBGs-RF Program 規劃	4-4
圖 4-4	HPE Program 規劃	4-4
圖 4-5	具備高效率與高功率密度的 SiC 元件	4-6
圖 4-6	E ₃ Car Project 成員組成狀態	4-7
圖 4-7	次世代 Power Electronics 技術開發計畫	4-8
圖 4-8	NEDO 與 AIST、FUPET 的計畫架構平台	4-9
圖 4-9	日本 SiC 技術發展與應用的規劃藍圖	4-10
圖 4-10	Si/SiC/GaN 元件應用與定位	4-11
圖 4-11	全球 SiC 功率元件市場預測	4-14
圖 4-12	全球 SiC 功率元件供應鏈	4-15
圖 5-1	台灣半導體產業發展歷程	5-3
圖 5-2	台灣功率元件產業架構	5-4

表目錄

表 2-1	碳化矽主要磊晶方法	2-8
表 2-2	碳化矽材料特性比較表	2-14
表 3-1	全球主要國家/地區白熾燈泡禁用時間表	3-7
表 3-2	藍光 LED 常用基板導熱係數表	3-18
表 3-3	藍光 LED 基板價格	3-25
表 3-4	2009 年全球高亮度 LED 封裝廠商營收排名	3-27
表 3-5	2009 年全球高亮度 LED 前五大排名--晶粒廠	3-28
表 3-6	SiC 功率元件主要應用系統及其主要需求元件規格	3-47
表 3-7	PV Inverter 效能比較	3-56
表 5-1	台灣主要功率元件業者與產品佈局	5-6

Table of Contents

Chapter 1 Foreword	1-1
Section 1 Research Target	1-4
Section 2 Research Methodology.....	1-5
Section 3 Research Architecture	1-6
Chapter 2 Introduction to Silicon Carbide Device	2-1
Section 1 Development History and Recent Status of Silicon Carbide Device	2-1
Section 2 Brief Introduction and Value Chain to Silicon Carbide Device	2-5
Section 3 Physical Properties of Silicon Carbide.....	2-11
Section 4 Summary	2-16
Chapter 3 Application Requirements and Development Opportunities for Silicon Carbide	3-1
Section 1 Market Analysis for Silicon Carbide Device by Application.....	3-1
Section 2 Application of LED Lighting	3-6
Section 3 Application of Power Device	3-34
Section 4 Summary	3-60
Chapter 4 Worldwide Silicon Carbide Device Development and Supply Chain.....	4-1
Section 1 Development Status and Strategy by Country/Region ..	4-1
Section 2 Worldwide Supply Chain	4-13

Section 3 Summary	4-18
Chapter 5 Development Opportunity and Strategy of Silicon Carbide Device	
in Taiwan	5-1
Section 1 Analysis of Industry Environment in Taiwan	5-2
Section 2 Importance and Benefits for Development in Taiwan...	5-7
Section 3 Development Opportunity and Strategy	5-8
Section 4 Some Issues for Development	5-10
Chapter 6 Conclusion	6-1

第一章 緒論

在 2008年至 2009之際，全球經濟正面臨金融風暴的席捲，而此同時，全球的氣候也正面臨嚴峻的挑戰，層出不窮的各種氣候異象，使得全球產業由生產製造端到消費端均開始密切關注節能環保的相關議題。根據國際能源署(International Energy Agency；IEA)所發布的 2009年世界能源展望(World Energy Outlook；WEO)資料中指出，由於全球溫室氣體排放來源中 65%來自能源的生產、傳輸與使用，能源是全球溫室氣體排放的主要來源，也是造成全球天候異常的元兇，從能源部分的相關改善措施下手刻不容緩，而目前所採取的方案則是集中火力於低碳科技上的相關投資。

根據WEO的報告中也指出，石化燃料仍將是全球能源的主要來源，在 2007年至2030年間仍佔有能源消費成長中四分之三的比重；至2030年，預估石油所佔能源消耗的比重將由現今的34%降至30%，而以用量來說，全球對於石油的需求將由2008年每天8,500萬桶，增加至 2030年的每天 10,500萬桶；而WEO報告的推測中，則顯示主要的石油需求增加量將主要來自非國際經濟合作與發展組織 (non-OECD)的開發中國家。而針對全球 CO₂排放量來源加以區分，根據 WEO 2009年發布的氣候變化摘要報告中可發現由運輸而產生的 CO₂排放比重約佔整體排放量的四分之一 (圖 1-1)。

第二章 碳化矽元件概述

回顧過去半導體元件材料的發展，以矽(Silicon)為最主要的材料，而隨著電子產品及其元件的高頻需求增加，第二代元件材料砷化鎵(Gallium Arsenide；GaAs)由於具備高電子遷移率特性適合做為高頻元件材料，而在行動通訊終端市場興起的同時，切入高頻半導體元件應用領域。而隨著電子電力系統規格的提升，以及日亦強調低電力損失與高崩潰電壓的元件需求，傳統的矽基功率元件規格已面臨其物理上的極限，而使得元件材料進一步朝諸如碳化矽(Silicon Carbide；SiC)以及氮化鎵(Gallium Nitride；GaN)等新一代寬能隙(Wide Band Gap)材料方向前進。本章節即由碳化矽元件近期發展近況切入，針對碳化矽元件以及其價值鏈作一簡介，並對於碳化矽及其相互競爭的其他元件材料作一特性之比較。

第一節 碳化矽元件發展近況

隨著電子電力系統需求的規格逐年提升，許多功率元件的電壓(Blocking Voltage)、功率電力切換頻率、電力與轉換效能，以及元件的可靠度等規格正在快速提升中，使得原本應用在系統產品中的矽基功率元件逐漸面臨其材料本身的理論極限，也帶出諸如碳化矽或氮化鎵等新一代寬能隙材料元件的需求逐漸浮現。而其中又由於碳化矽元件發展的歷程較氮化鎵為長久，特別是在新一代的功率元件領域中，碳化矽材料的功率元件發展較氮化鎵功率元件為早，也因此有較多的碳化矽功率元件進入商品化階段，亦被視為可能取代傳統矽基功率元件的最重點元件。

第三章 從主要應用領域需求看碳化矽元件發展機會

相較於傳統的矽半導體材料元件，碳化矽 (Silicon Carbide；SiC) 元件由於在崩潰電場、導熱、高頻切換等電子特徵上具備良好的材料特性，過去已有十年以上的發展歷程，然在投入廠商有限以及製程困難等因素影響下，成本始終較傳統元件高昂。近年來由於全球天候的異常狀態頻仍，消費端的環保意識興起，促使供應端亦強調節能環保訴求，SiC 元件的開發則由於部分省能源系統應用以及元件本身的節能特徵而又開始受到重視。本章節則規劃由 SiC 目前應用市場概況切入，探討目前主要應用對 SiC 元件之需求，以及未來潛力應用市場對於 SiC 元件之需求，以了解 SiC 元件之發展現況與未來趨勢。

第一節 碳化矽元件應用市場概況

多數電子產品的發展趨勢往往是朝高性能及多功能的方向邁進，但在達成高性能與多功能的同時往往會消耗更多的電力。而在日亦強調節能的需求推動下，主宰電力效能相關的功率元件將在未來扮演重要關鍵角色。過去在個人電腦、手機以及消費性電子產品應用中所需的半導體，約有一成左右的比重是屬於功率半導體，而在能源產業設備的應用中，功率半導體比重則將佔設備中半導體比例的五成以上。隨著電動車輛與再生能源系統等各種綠能環保應用的興起，過去在電子產品中扮演配角的功率元件，將有一波發展的空間。

碳化矽由於其優異的材料特性，而適用於多種應用用途。由於 SiC 的寬能隙 (Wide Band Gap；WBG) 與高溫操作穩定特性，因而適用在高溫

第四章 全球碳化矽元件供應與發展狀態

在經過碳化矽於LED照明及功率元件應用上的發展趨勢，與應用對元件需求的驅動力分析之後，本章節將由全球各主要國家/區域之發展狀態與策略切入，探討各國對於碳化矽元件發展之態度及發展之影響。此外，本章節也將藉由目前碳化矽元件全球供應狀態之分析，尋找發展碳化矽元件之關鍵與缺口，以期了解在發展碳化矽元件的規劃上，必須著重的重要發展方向與可能之機會。

第一節 各國發展狀態與策略

根據國際能源總署 IEA在 2009年的會議與相關報告資料，顯示若全球對於環境保護不採取一些積極措施，全球的 CO₂排放情況將持續以現在的速度繼續擴大惡化；反之若能從現在開始採取措施（450 情境），則預估至 2020年的 CO₂排放將較不採取任何措施、依照目前惡化速度的情境減少 38億噸，而預估至 2030年的減碳效果將更進一步放大至138億噸的減量。而為了達到 450情境在 2030年的 CO₂排放目標要求，IEA也預估全球需再投入總計 10.5兆美元的投資，而其中提高能源的使用效率、各種再生能源的建置與籌畫，以及更環保的運輸系統規劃以爲全球各國政府取得共識與戮力發展之焦點（圖 4-1）。

第五章 台灣碳化矽元件發展機會與策略

從碳化矽 (Silicon Carbide ; SiC) 元件與應用系統需求的分析中，可發現在全球節能環保議題發酵影響下，由電動車輛 (Electric Vehicle / Hybrid Electric Vehicle ; EV/HEV)、再生能源系統 (Renewable Energy System) 應用，以及各種電力電子系統的節能需求增加帶動下，SiC 功率元件的發展及商業化應用，已成為全球關注的長期發展焦點之一。各國政府多已在 SiC 元件發展領域提出相對應的發展規劃及藍圖，或以政府支援計畫方式，投入各種基盤研究之進行；對於已屆轉進商業用途的現階段，則祭出產學研共同開發的聯盟或平台策略，期以有效運用投入資源，俾使商業化時程早日實現。回顧台灣的 SiC 元件與產業發展，過去則僅有少數的學界與研究單位短期的投入，在功率元件發展部份也不若全球腳步積極；在永續經營與發展的前提下，未來台灣在 SiC 元件領域或功率元件產業的發展，實為一急待研議的課題。本章節將由台灣半導體與功率元件產業發展環境分析切入，並探討我國發展 SiC 元件之重要性及效益，從全球 SiC 元件產業現況尋找適合台灣的 SiC 元件發展策略與相關衍生關鍵議題，期提供我國產業未來發展策略之參考。

第六章 結論與建議

SAMPLE

《新世代元件-我國碳化矽元件發展策略》

紙本定價:4500 點

全本電子檔下載：9000 點;亦可依各章節下載

電話 | 02-27326517

傳真 | 02-27329133

客服信箱 | itismembers@micmail.iii.org.tw

地址 | 10669 台北市敦化南路二段 216 號 19 樓

劃撥資訊 | 帳號：01677112

戶名：財團法人資訊工業策進會

匯款資訊 | 收款銀行：華南銀行—和平分行

(銀行代碼：008)

戶名：財團法人資訊工業策進會

收款帳號：98365050990013 (共 14 碼)

服務時間 | 星期一~星期五

am 09:00-12:30 pm13:30-18:00



經濟部技術處產業技術知識服務計畫

如欲下載此本產業報告電子檔，

請至智網網站搜尋，即可扣點下載享有電子檔。

ITIS 智網：<http://www.itis.org.tw/>

版權所有© 2011 經濟部技術處 產業技術知識服務計畫(ITIS)

經濟部技術處產業技術知識服務計畫專案辦公室 承辦