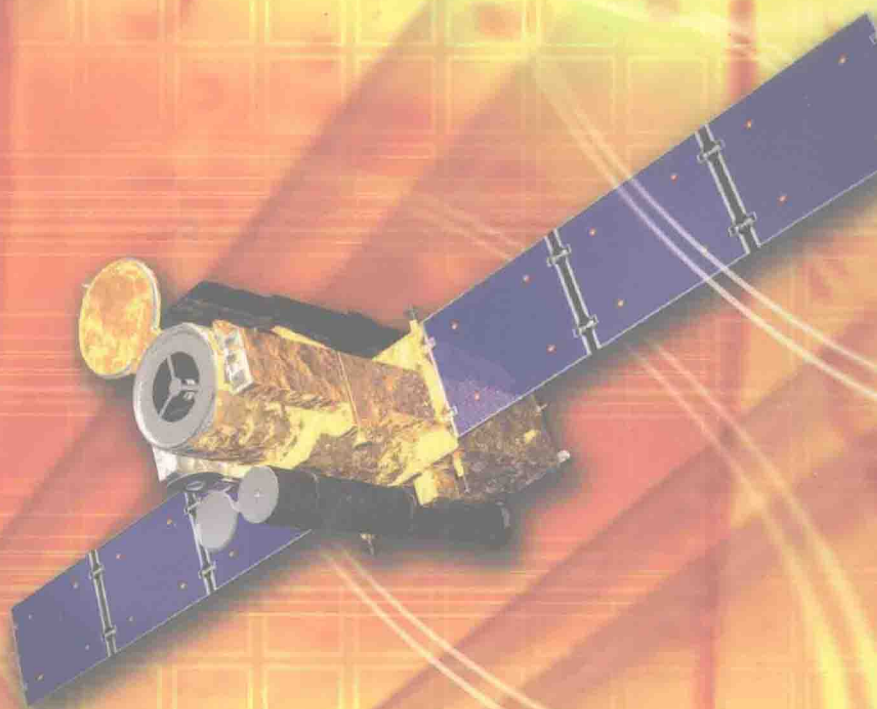


修訂版

太陽電池 技術入門

林明獻 編著



 全華圖書股份有限公司 印行

太陽電池技術入門(修訂版)

林明獻 編著



全華圖書股份有限公司 印行

國家圖書館出版品預行編目資料

太陽電池技術入門 / 林明獻編著. -- 二版. --

臺北縣土城市：全華圖書, 2008[民 97]

面；公分

參考書目：面

ISBN 978-957-21-6261-3(平裝)

1. 太陽能電池

337.421

96006490

太陽電池技術入門(修訂版)

編 著 林明獻

執行編輯 游小玲

發行人 陳本源

出版者 全華圖書股份有限公司

地 址 236 台北縣土城市忠義路 21 號

電 話 (02) 2262-5666 (總機)

傳 真 (02) 2262-8333

郵政帳號 0100836-1 號

印刷者 宏懋打字印刷股份有限公司

圖書編號 0597701

二版二刷 2008 年 07 月

定 價 新台幣 390 元

I S B N 978-957-21-6261-3

全華圖書

www.chwa.com.tw

book@chwa.com.tw

全華科技網 OpenTech

www.opentech.com.tw

有著作權·侵害必究

序

美國威斯康辛大學的指導教授 Dr. Sindo Kou 曾告訴我：「一個人拿到 Ph.D 不該只是爲了追求一份高薪的工作，更重要的是要負起知識傳承的責任」。這句話一直深植在我的心中，也鞭策著我在受益於許多的社會與教育資源之後，努力的爲這個社會盡到一己綿薄的知識傳承的責任。在這樣的信念支持之下，我於 1999 年底出版了第一本拙作「矽晶圓半導體材料技術」。但因接踵而來的一連串忙碌的工作，讓我停筆了好幾個年頭。直到去年 8 月將第一本書重新修定完成之後，在愛妻美鳳的鼓勵之下，我開始了「太陽電池技術入門」這本書的寫作工作。

近年來，由於國際油價不斷高漲，加上環保意識的抬頭，世界主要國家乃積極研發使用潔淨的再生能源，以減輕傳統發電方式所產生之污染問題。這使得太陽電池產業一夕之間變得火熱了起來，國內外許多業者競相投入這個領域，我也常接到一些讀者來電詢問這產業相關的資訊。雖然坊間也有一些太陽電池相關的書籍，但卻沒有一本適合初學者閱讀的入門參考書籍。有鑑於此，爲了服務有心認識太陽電池產業的初學者，本書的寫作捨棄大部份深奧的理論探討，而採用淺顯易懂的技術描述，並輔以彩色的插圖以幫助讀者對內容的理解力。然而畢竟筆者所學有限，對太陽電池知識的涉獵也不夠深入，因此本書的內容難免有不足與錯誤之處，還望先進後學不吝賜教！

本書的編排上，第一章是就整個太陽光電產業與歷史演進做簡單的介紹，以讓讀者有個整體的概念。第二章則是先對於太陽光電的一些基本理論做簡單介紹，但也只介紹最基礎的部份。第三章到第五章分別介紹多晶矽原料、單晶矽晶片、及多晶矽晶片等最上源的原料之製造技術。第六到第八章爲所有矽基太陽電池的製造技術之說明，包括第六章的結晶矽太陽電池、第七章的薄膜型結晶矽太陽電池、及第八章的非晶矽太陽電池等。第九章介紹 III-V 族化合物太陽電池之製造技術，這是目前轉換效率最高及用在太空領域的太陽電池。第十章介紹 CdTe 化合物太陽電池製造技術、第十一章介紹 CIS 及 CIGS 太陽電池製造技術、第十二章則介紹染料敏化太陽電池之製造技術，這些不同的太陽電池各有其特色。最後，第十三章則對太陽光電系統與應用做簡單的說明。讀者應該可以在很短的時間內，把本書看過一遍之後，就可對整個太陽電池產業及製造技術有個全盤的了解。

本書能夠順利問世，要感謝的人很多。首先最要感謝的，自然是我的愛妻，沒有她的鼓勵與支持，就不會有這本書的問世。也特別要感謝她體諒我在寫作期間對家庭的疏忽，及她這段期間及過去的辛苦付出。再來要感謝的是世創電子的李昭霖與蔡昌志先生，沒有他們分擔了我大部份的工作及體諒，這本書就無法這麼快問世。對於其他朋友的鼓勵及全華圖書公司的全力協助，筆者也藉此予以一併致謝！

回首過去這段寫作日子，它是辛苦的、也是充實的。在完成的這一刻，心頭像是去掉一塊大石般的輕鬆自若。但這只是一個階段性使命的完成，往後，應該還會有第三本書的問世吧！最後，誠摯的將這本書獻給我摯愛的妻子美鳳、寶貝女兒語柔。



於新竹

編輯部序

近年來，環保意識抬頭，全球皆積極研發使用潔淨的再生能源，以減輕傳統發電方式所產生之污染問題。使得太陽能產業得以被重視，也成為未來能源的趨勢。

本書作者以多年的經驗由淺入深的對於太陽能電池做詳細的解說，對於太陽光電產業與歷史演進及基本理論做簡單的介紹，使讀者有整體的概念，並分別針對多晶矽原料、單晶矽晶片和多晶矽晶片等原料之製造技術做介紹。對於所有矽基太陽電池的製造技術做說明，包含結晶矽太陽電池、薄膜型結晶矽太陽電池和非晶矽太陽電池等。本書對目前轉換效率最高並用在太空領域的太陽電池 III-V 族化合物太陽電池之製造技術、CdTe 化合物太陽電池製造技術、CIS 和 CIGS 太陽電池製造技術、染料敏化太陽電池之製造技術，這些不同的太陽電池介紹其各自的特色。最後將太陽光電系統與應用做簡單的說明，使讀者可以融會貫通並應用於生活上。本書適用於從事太陽電池產業之工程人員及學術研究者所或是有興趣的人士閱讀。

相關叢書介紹

書號：0367271

書名：矽晶圓半導體材料技術
(精裝本)(修訂版)

編著：林明獻

16K/568 頁/520 元

書號：05859

書名：高密度構裝技術－
100 問題解說

編譯：許詩濱

20K/280 頁/350 元

書號：0360801

書名：半導體平坦化 CMP 技術
(修訂版)

編譯：王建榮、林必窳、林慶福

20K/312 頁/300 元

書號：0510201

書名：矽元件與積體電路製程(修訂版)

編著：李明達

20K/288 頁/300 元

書號：0552501

書名：薄膜科技與應用(修訂版)

編著：羅吉宗

20K/464 頁/420 元

書號：02417

書名：各類電池使用指南

編譯：洪芳州

20K/168 頁/150 元

書號：0555601

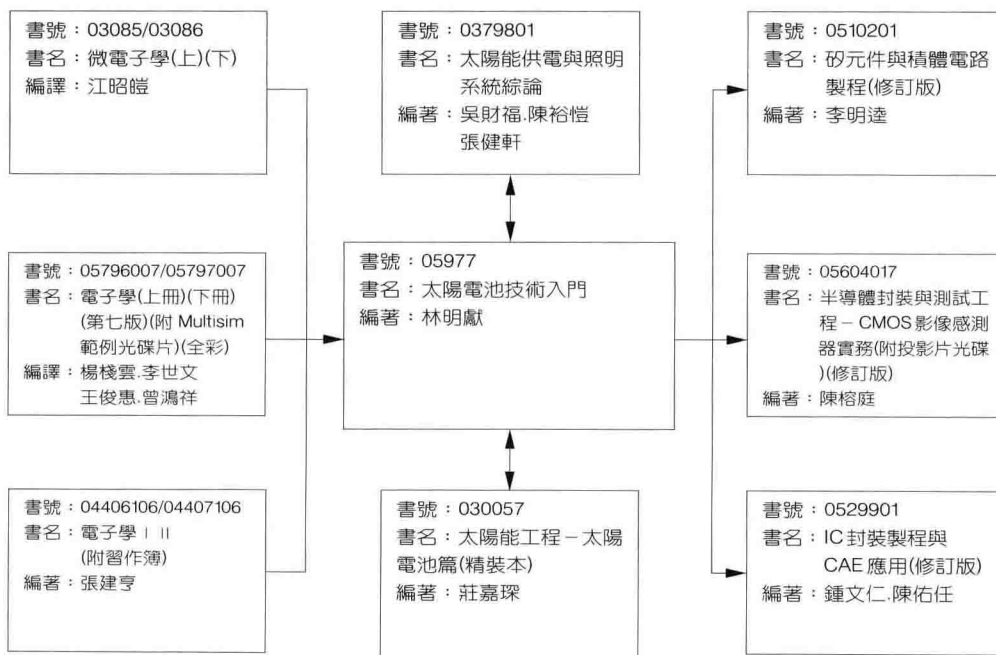
書名：薄膜工程學

編譯：王建義

20K/360 頁/350 元

◎上列書價若有變動，請以
最新定價為準。

流程圖



目錄

Contents

第 1 章 太陽電池概論

1.1 我們所知道的太陽	1-1
1.2 太陽輻射	1-2
1.3 為何太陽能源之利用變得那麼重要？	1-4
1.4 太陽能發電的優缺點	1-5
1.5 何謂太陽電池？	1-6
1.6 太陽電池的發展史	1-7
1.7 台灣太陽電池產業的發展	1-13
1.8 太陽電池的經濟效益	1-15

第 2 章 太陽電池的基本原理

2.1 基本的光電物理	2-1
2.2 矽的原子結構	2-6
2.3 半導體的能帶理論	2-7
2.4 P-N 接合(P-N Junction)	2-10
2.5 太陽電池的發電原理	2-12
2.6 太陽光的光譜照度	2-15
2.7 太陽電池的電路模型	2-15
2.8 判別太陽電池效率的參數	2-17
2.8.1 最大的功率點	2-17
2.8.2 能量轉換效率	2-17
2.8.3 填充係數(Fill Factor)	2-18

2.8.4	量子效率(Quantum efficiency)	2-19
2.9	影響太陽電池效率的因素	2-20
2.9.1	造成轉換效率損失原因	2-20
2.9.2	提高轉換效率的方法	2-21

第 3 章 多晶矽原料製造技術

3.1	太陽電池材料之選定標準	3-1
3.2	矽原料之特性	3-2
3.3	多晶矽原料之製造流程(Siemens 方法)	3-3
3.3.1	冶金級多晶矽原料之製造	3-4
3.3.2	三氯矽烷(SiHCl_3)的製造與純化	3-7
3.3.3	塊狀多晶矽原料的製造：Siemens 方法	3-9
3.4	塊狀多晶矽原料的製造：ASiMi 方法	3-12
3.4.1	SiH_4 原料製造技術	3-12
3.4.2	多晶矽原料的製造	3-14
3.5	粒狀多晶矽原料的製造	3-14
3.6	多晶矽原料之市場概況	3-17

第 4 章 太陽電池級矽單晶片製造技術

4.1	前言	4-1
4.2	CZ 矽單晶棒之製造	4-3
4.2.1	CZ 拉晶爐設備	4-3
4.2.2	CZ 拉晶流程	4-4
4.3	太陽電池等級 CZ 單晶片的常用規格	4-7
4.4	CZ 單晶棒的品質與良率控制	4-7
4.4.1	單晶良率的提升	4-7
4.4.2	電阻率的控制	4-8
4.4.3	氧在矽晶棒內的形成機構與控制	4-9

4.4.4	CZ 矽晶棒中碳的形成與控制	4-10
4.4.5	CZ 矽晶棒中金屬不純物的來源與控制	4-11
4.5	晶圓的加工成型	4-11
4.5.1	修邊(Ingot Squaring)	4-11
4.5.2	切片(Slicing)	4-12
4.5.3	蝕刻清洗(Etching and Cleaning)	4-14
4.6	矽單晶片之市場概況	4-15

第 5 章 多晶矽晶片之製造技術

5.1	前言	5-1
5.2	鑄造多晶矽錠之技術	5-2
5.3	多晶矽片之加工成型	5-6
5.4	多晶矽片之品質控制	5-8
5.4.1	結晶缺陷	5-8
5.4.2	不純物之控制	5-9
5.5	薄板多晶矽片(Ribbon Silicon)之製造技術	5-10
5.5.1	EFG (Edge Defined Film Feed)法	5-11
5.5.2	WEB (Dendritic Web)法	5-14
5.5.3	STR (String Ribbon)法	5-15
5.5.4	RGS (Ribbon Growth on Substrate)法	5-16
5.6	矽薄板之品質特性	5-17

第 6 章 結晶矽太陽電池

6.1	前言	6-1
6.2	太陽電池基本結構	6-2
6.2.1	基板	6-3
6.2.2	表面粗糙結構化(Texturing)	6-4
6.2.3	P-N 二極體	6-6

6.2.4	抗反射層(Antireflection Coatings)	6-6
6.2.5	金屬電極	6-6
6.3	太陽電池之製造流程	6-8
6.3.1	表面粗糙結構化(Texturization)	6-9
6.3.2	磷擴散製程(Phosphorus diffusion)	6-10
6.3.3	邊緣絕緣處理(Edge Isolation)	6-13
6.3.4	抗反射層塗佈(ARC Deposition)	6-13
6.3.5	正面電極之網印(Front Contact Print)	6-15
6.3.6	背面電極之網印(Front Contact Print)	6-16
6.3.7	火烤(Cofiring)	6-17
6.4	模組化技術	6-17
6.4.1	太陽電池的串接	6-18
6.4.2	太陽電池模組之構造與製造過程	6-19

第 7 章 薄膜型結晶矽太陽電池

7.1	前言	7-1
7.2	薄膜結晶矽之沉積技術	7-2
7.2.1	CVD 薄膜結晶矽之沉積技術	7-3
7.2.2	LPE 薄膜結晶矽之沉積技術	7-7
7.3	薄膜晶粒之改善技術	7-8
7.3.1	ZMR 再結晶技術(Zone Melting Recrystallization)	7-8
7.3.2	金屬誘發結晶化(Metal-Induced Crystallization, MIC)	7-9
7.3.3	退火處理(Annealing)	7-10
7.3.4	雷射誘發再結晶(Laser-Induced Recrystallization)	7-10
7.4	薄膜型結晶矽之種類	7-11
7.4.1	單晶矽薄膜生長在單晶矽基板上	7-12
7.4.2	多晶矽薄膜生長在多晶矽基板上	7-15
7.4.3	多晶矽薄膜生長在其它材質基板上	7-15
7.5	薄膜矽太陽電池設計上之考量	7-16

7.5.1 光線的留滯(Light-Trapping).....	7-17
7.6 混合型(Hybrid)堆疊之薄膜太陽電池	7-20

第 8 章 非晶矽太陽電池

8.1 前言	8-1
8.2 非晶矽之原子結構與特性	8-3
8.3 非晶矽之沉積技術	8-4
8.3.1 PECVD	8-4
8.3.2 HWCVD (Hot-Wire CVD)	8-8
8.3.3 合金膜的形成	8-9
8.4 非晶矽太陽電池之結構	8-9
8.4.1 基本的 $p-i-n$ 結構	8-9
8.4.2 多接面太陽電池結構 (Multijunction Cell)	8-12
8.5 非晶矽太陽電池模組	8-14
8.6 非晶矽薄膜之光劣化現象	8-14

第 9 章 III-V 族化合物太陽電池

9.1 前言	9-1
9.2 III-V 族化合物之特性	9-2
9.3 III-V 族化合物之薄膜生長技術	9-5
9.3.1 液相磊晶法(LPE).....	9-6
9.3.2 化學氣相沉積法(CVD).....	9-7
9.3.3 有機金屬化學氣相沉積法(MOCVD).....	9-7
9.3.4 分子束磊晶法(MBE)	9-8
9.4 單一接面太陽電池之設計	9-10
9.5 多接面太陽電池之設計	9-11
9.6 GaInP/GaAs/Ge 太陽電池.....	9-13
9.6.1 Ge 電池	9-14

9.6.2	GaAs 電池.....	9-14
9.6.3	GaInP 電池.....	9-14
9.6.4	隧道結(Tunnel Junction Interconnects, TJIC)	9-16
9.7	InP 基太陽電池.....	9-16
9.8	量子井太陽電池(Quantum Well Solar Cells)	9-17
9.9	III-V 族太陽電池之應用	9-17
9.9.1	熱光伏特系統(thermophotovoltaics, TRV).....	9-18
9.9.2	聚光系統(concentrator system).....	9-18
9.9.3	太空應用.....	9-18

第 10 章 碲化鎘(CdTe)太陽電池

10.1	前言	10-1
10.2	CdTe 的基本物理性質	10-3
10.3	CdTe 薄膜的製造技術	10-4
10.3.1	物理氣相沉積法.....	10-4
10.3.2	密閉空間昇華法.....	10-5
10.3.3	氣相傳輸沉積法.....	10-6
10.3.4	濺鍍法	10-7
10.3.5	電解沈積法	10-7
10.3.6	噴塗沉積法	10-8
10.3.7	有機金屬化學氣相沉積法	10-8
10.3.8	網印沉積法	10-9
10.4	CdCl ₂ 處理	10-9
10.5	CdTe 太陽電池之結構	10-9
10.6	CdTe 太陽電池模組.....	10-11
10.7	CdTe 太陽電池之未來發展	10-12

第 11 章 銅銦鎳二硒太陽電池

11.1	前言	11-1
11.2	材料特性	11-3
11.3	CIGS 薄膜製造技術	11-6
11.3.1	同步蒸鍍法(Coevaporation)	11-6
11.3.2	硒化法(Selenization)	11-8
11.4	CIGS 太陽電池之結構	11-9
11.4.1	背面電極(Back Contact)	11-9
11.4.2	吸收層(Absorber Layer)	11-9
11.4.3	緩衝層(Buffer Layer)	11-10
11.4.4	透明導電氧化層(Transparent Conducting Oxide)	11-11
11.4.5	正面金屬電極	11-11
11.5	CIGS 太陽電池模組	11-12
11.6	CIGS 太陽電池的未來發展	11-13

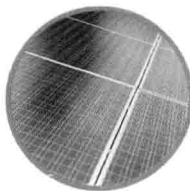
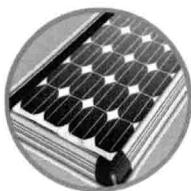
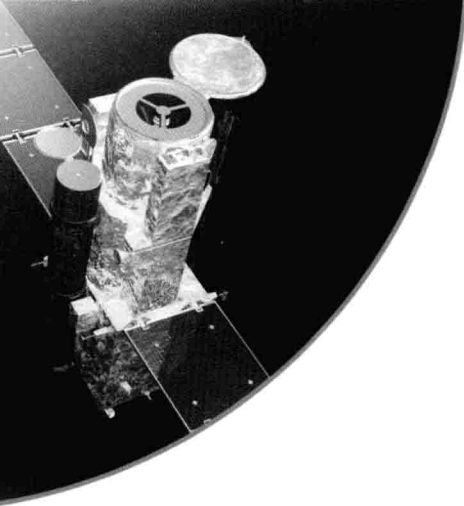
第 12 章 染料敏化太陽電池

12.1	前言	12-1
12.2	染料敏化太陽電池的基本結構	12-2
12.2.1	玻璃基板	12-4
12.2.2	TiO ₂ 光導電極	12-5
12.2.3	染料光敏化劑(Dye-Photosensitizer)	12-6
12.2.4	電解質(Electrolyte)	12-10
12.2.5	輔助電極(Counter Electrode)	12-11
12.3	染料敏化太陽電池的發電原理	12-12
12.4	染料敏化太陽電池的特性	12-13
12.5	染料敏化太陽電池模組化之考量	12-14
12.6	染料敏化太陽電池的發展趨勢	12-15

第 13 章 太陽光電系統與應用

13.1 前言.....	13-1
13.2 太陽光電系統之組成.....	13-2
13.2.1 蓄電池(Battery storage)	13-3
13.2.2 充電控制器(Charge Controller)	13-5
13.2.3 直/交流轉換器(Inverter).....	13-6
13.3 太陽光電系統之種類與應用	13-9
13.3.1 獨立型(off-grid 或 stand-alone)太陽光電系統.....	13-9
13.3.2 市電併聯型(Grid-Connected)太陽光電系統	13-12
13.3.3 混合型(Hybrid)太陽光電系統.....	13-14
13.4 太陽光電系統在太空上的應用	13-15

附錄 本書編寫時之參考資料



Chapter

1

太陽電池概論

1.1

我們所知道的太陽

太陽是整個太陽系裡頭的最大物體，它所釋放的能量是維繫整個地球生命最主要的來源。圖 1.1 顯示太陽與地球的相對大小，基本上，它的特性是很難用地球上常用的度量衡單位去描述的。太陽的質量約為 2×10^{30} 公斤，其直徑大小約為地球的 109 倍。

太陽內部最主要的成份為氫與氦，其所佔的比例分別為 75% 及 25% 左右。太陽中心的密度為 $1.5 \times 10^5 \text{ kg/m}^3$ ，因為熱核反應，不斷的將氫轉變為氦。據估計，每秒鐘有 3.9×10^{45} 個原子參與這樣的核反應，因而使得產生的能量以光的形式從太陽表面散發出去。在太陽所釋放的輻射能量中，地球只獲得了總輻射量的 22 億分之一，這相當於 1367 w/m^2 ，這數值也就是所謂的太陽常數。

太陽的表面溫度可以高達攝氏 5500 度，其內部的溫度更遠高於此，如此的高溫，使得太陽上的所有物質都處於電漿態。也由於太陽不是固體，因此它的赤道會比高緯度地區旋轉得更快。這種在不同緯度的自轉速度之差別會造成了它的磁力線隨時間扭曲，引起磁場迴路(magnetic field loops)從太陽表面噴發，並引發形成太陽黑子和日珥(如圖 1.1 中噴爆出來的凸起氣流部份)。

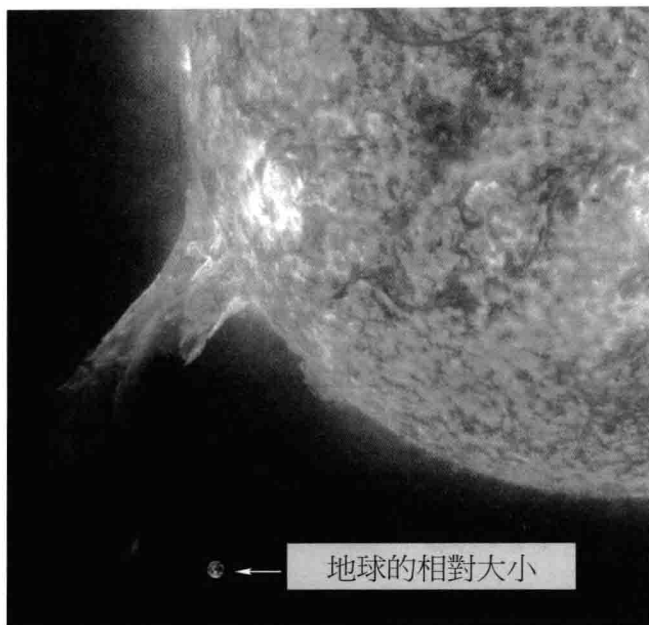


圖 1.1 太陽與地球相對大小之比較，此照片是藉由觀測太陽表面離子化的氦所釋出的紫外線而得到的，照片中越白的地方表示溫度越高，越暗的地方表示溫度越低(照片取自 SOHO/NASA/ESA)。

1.2 太陽輻射

從太陽輻射出來的能量非常龐大，是地球生物賴以維生的主要能源。它不僅決定了地表的溫度，也實質提供了主導全球自然界系統運轉的能量。不像其它很多星球以 X 光或無線電波訊號來釋放能量，我們的太陽輻射之光譜，所放射出來的能量 90% 是位於波長 0.1 至 $3\ \mu\text{m}$ 之間，大部份屬於可見光範圍。但可見光僅佔整個輻射光譜(見圖 1.2 所示)之部份而已，紅外線及紫外線也佔整個太陽輻射光譜很重要的一部份。

如圖 1.2 所示，太陽輻射的光線波長在 2×10^{-7} to 4×10^{-6} 公尺之間，每一個波長相對應一個光子能量與頻率，越短的波長代表越高的頻率與越大的能量。例如，可見光的範圍是從波長 0.3 微米之紫外光到波長數微米之紅外光，若將這些不同顏色的可見光換算成光子的能量，則約在 0.4 電子伏特到 4 電子伏特之間。對於會曬黑我們皮膚的紫外線而言，其能量比可見光還高；而紅外線的能量則比可見光低。