

高中自然科學專題研究之課程設計 及實施方式研究

召集人：劉智雄

指導教授：洪茂峰

研究者：陳秉貴

賴黃絹

臺北市教師研習中心

中華民國九十三年十二月

目次

研究摘要

第一章 緒論.....	1
第一節 研究動機.....	1
第二節 研究目的.....	3
第二章 理論探討.....	4
第一節 自然學科專題的研究方法.....	4
第二節 高中生自然學科專題研究校內實務運作及資源獲得	12
第三章 研究方法.....	16
第一節 研究設計.....	16
第二節 課程設計.....	17
第三節 課程內容實質研究.....	23
第四節 實驗課程規劃研究.....	25
第五節 自然學科專題研究評鑑設計及執行.....	26
第四章 研究結果.....	28
第一節 自然學科專題研究課程設計研究結果.....	28
第二節 自然學科專題研究課程實施研究結果.....	29
第三節 自然學科專題研究延伸目標實施結果.....	30

第五章 結論與建議.....	31
第一節 結論.....	31
第二節 建議.....	32
參考文獻.....	33
附錄.....	37

表 次

表一.....	5
表二.....	17
表三.....	18
表四.....	19
表五.....	34

圖 次

照片一.....	34
照片二.....	35
照片三.....	35
照片四.....	36
照片五.....	36

附錄次

附錄一 大直高中 93 自然學科優選專題研究作品(一).....	37
附錄二 大直高中 93 自然學科優選專題研究作品(二).....	58
附錄三 大直高中自然學科專題研究成果申請專利準則.....	79
附錄四 大直高中歷屆優選專題作品參與科學活動一覽表.....	81

摘要

本研究主要是配合大直高中校定必修「專題研究」課程實施而進行之漸進式研究，藉由專題課程的進行除不斷研究改進缺點外，亦同時做部份自然科學研究理論及制度、方法之建立，最後再藉不斷反覆的去蕪存菁，所完成的最適合北市高中學生的一套自然學科專題研究法及施行辦法。大直高中高中部成立之初即有部份自然學科專業實驗室之建立(半導體物理專題實驗室、電化學專題實驗室、生命科學專題實驗及貴重儀器實驗室)，再配合大直特有的「專題研究」課程，則漸漸的形成大直高中自己特有的「自然學科專題研究」團隊，所以如果再配有一套獨特的自然科學專題研究法及施行架構、步驟，則會有助於高中自然科學教育有長足的進步。

本研究在研究法的討論及撰寫外，所建立的課程實施架構是一種經過多次實施經驗經過改良後的架構流程，改進了很多專題課程實施過程中出現的技術性問題；例如：自然學科專題領域老師的跑班課程解說就是一大創舉。另外執行方式的改良更是精心設計的成果；例如：寒暑假時間亦列入自然學科專題課程的時程內等。最後本研究計畫將專題評鑑及發表方式亦做出詳盡的探討，並分列出其優缺點並將優勢部份加以廣泛應用在課程實施上以期讓制度更臻健全；例如選派優選作品參加校內外科學展覽會、替學生專題作品申請專利、編撰優良專題選集及舉辦優選專題作品發表會，這都是『專題研究』課程實施的極度發揮。最重要的是藉由自然學科專題研究課程的實施提高學生獨立自主的研究能力及培育學生思考創造的能力，使整個高中自然科學教育廣度及深度增加且品質因而大大的提升。

第一章 緒論

第一節 研究動機

在現行高中課程自然學科中除了制式的實驗課程外，並無規畫對自然組傾向的學生的實驗方法、研究精神及思考能力的提升有一較佳的對策或辦法，再加上由於自然學科課程時數的窘緊(九十五年度欲實施的新高中教材更是嚴重)，這都會排擠到實驗課程的實施，更遑論到自然科學研究課程的施行，所以在高中實施時程完整且課程獨立的自然科學專題研究課程似乎是當今極為迫切的。

大直高中早於八十七年高中部成立之初即楊欒高中生須修習「專題研究」課程的意念，在所有高中裡實屬首創。大直高中在校長領導下的課程發展委員會提出「校訂必修」中的「專題研究」課程中明白闡釋以培養高中生的實驗研究精神及獨立思考之能力，因此奠定大直高中在所有北市高中「專題研究」課程的領導地位。

大直高中在高中部未創設前的國中部時期即以優秀的的自然科學研究成果名聞於外，其在北市科展及全國科展都有不錯的佳績(附錄四)。高中部成立之初 校長網羅很多優秀且在各自然科領域學有專長的老師進入大直高中，這替大直高中高中生從事自然科學專題研究可以說是奠入深基。隨著大直「專題研究」課程的實施；不斷優質化自然學科專題研究品質的意念不斷提出，促成本研究計畫的提出，並採用漸進式的研究方式來改進自然學科專題研究的實施方式及研究方法，並試著研發出一套評鑑方式回饋到母法以期不斷改進進行中的專題研究實施步驟及實施方式。

大凡一個課程或制度的實施在不斷執行過程中須找出不適用及滯礙難行難行的部份並加以改良，之後，要思考將其廣泛的應用在其他方面，例如協助其他對「專題研究」課程有高度興趣的高中建立欲實施相同課程的制度。這是當初提出本研究計畫的最大目的；另外可以藉著本計畫的進行提升學校的相關的實驗設備及相關行政資源及行政準備工作。我們也可藉著自然學科專題研究的進行與其他高中或大學建立互助合作關係，形成夥伴學校。

最後當然是自行研發出一套適用於高中生的「自然學科專題研究法」，雖然社會及

學術界已開發出很多相關之專題研究法，但似忽皆不太合適於高中生的使用，更不用說目標更明細的高中自然學科專題研究，畢竟在高中生自然學科專題研究的範疇中，它是極端的新、極端的富建設性及挑戰性；所以一套「高中自然學科專題研究法」是很必要的。

期望本研究計畫能對將來「高中自然學科專題研究」的推行提供一個很適當的協助，使高中的自然科學教育能對高中課程規畫提供一個方向性的幫助；

所以本計畫「高中生自然科學專題研究執行及實施方式研究」於焉產生。

第二節 研究目的

- 一、配合大直高中原校訂必修課程「專題研究」，擬針對自然科學領域專題研究課程設計及實施方法做更深入之探討及研究。
- 二、另配合 89，90 學年度大直高中特色發展，積極設計改良大直高中自然科學領域專題研究課程安排及規劃上課方式，以期專題研究教學方式能更具效率，研究成果更具成效。
- 三、積極將專題研究與教師行動研究結合，俾因專題研究之實施，教師之專業研究能力更加提昇，學生專題研究能力亦因此提高。另外藉著高專生自然科學專題研究課程之實施及執行，使課程施行成果及應用走上更有效之途徑；例如使專題研究課程與科展相結合、專題課程成果專利化及專題成果普及於其他適性學區夥伴高中。

第二章 理論探討

第一節 自然學科專題的研究方法

研究，是針對某一特定的問題，有系統的蒐集相關資料，運用科學的態度與方法驗證資料的真偽，從而獲得明確結論的所有歷程。也就是說研究是利用科學的方法及精神去發掘問題，尋求解決問題的答案。如果參與的研究人員大都不只一個人，而是由研究小組共同為之，此即為「專題研究」。也就是針對某一專門、特定的議題，集合研究小組共同研究、規劃、設計、實驗及評量的一種集合式創作的歷程。

科學研究是人類追求知識或解決問題的一種活動。而專題研究是科學研究之一種。而一般的科學最普遍的分類是將其分為：

理論科學：含物理、化學、數學、地球科學

生物科學：生命及生物科學

應用科學：相關工程科學等

社會及行為科學

人文學

而以上的前三項即為自然專題的研究範疇(表一)，所以「自然科學專題研究」可以定義如下：用科學的方法、科學態度及集合適當的團隊以解決一專門、特定的理論科學、生物科學、應用科學等問題的一種集合式創作歷程。

科學分類	理論科學			
細項	物理	化學	數學	地球科學
	地質學	氣象學	電化學	
科學分類	生命科學			
細項	生物學	解剖學	植物學	動物學
	生理學	微生物學	遺傳學	心理學
	農業	公共衛生	護理	養殖
	基因工程			
科學分類	應用科學			
細項	土木工程	機械工程	化學工程	電機工程
	採礦	冶金	太空科學	半導體
科學分類	社會及行爲科學			
細項	人類學	社會心理學	設計	大眾傳播

表一 自然專題研究範疇

所以基本上自然專題研究方法應著重在研究方法的建立及研究實務之進行。

一、 研究方法的建立

(一) 以科學方法建立自然專題研究步驟：

1. 建立假設(訂定題目)

觀察假設是自然科學領域研究的動力，在此階段最重要的是專題研究題目的確定。所以題目訂定前的觀察須極細密，接著做很多有建設性的假設並評估其可行性，以期提出一個有意義且可行性高的自然專題研究題目。

此階段專題團隊須配合專題指導老師的指導，以期提出一個具有有效解決問題的自然專題。

2. 蒐集資料

專題題目確定後，緊接著就要廣泛的去蒐集資料，以確保研究及實驗能有效的進行，所以資料蒐集應是自然專題研究過程中較屬花時間的階段。

資料蒐集的方向是否正確關係著專題研究或實驗能否順利進行，所以建議資料蒐集這過程須與指導老師密切的配合。

一般蒐集資料的方向包含了紙本資料(書籍、期刊)、網路資料及口述資料(老師、相關研究人員)，而蒐集資料的地方涵蓋了大學研究室、大學圖書館及研討會等。

3. 資料整理及分析

對自然專題研究而言；其資料整理分析包含兩大方向，一為實驗數據的整理分析，另一為紙本資料的整理分析。

(1) 實驗數據整理分析

實驗數據是自然專題研究過程中必出現的，而如何將這龐大數據加以分析整理系統化關係著專題的成功與否，所以對實驗數據的分析整理有很多理論學說及程式都是可為我們加以採用的。最後我們須明瞭具有建設性的數據分析整理將提供我們專題研究一個很好的進路及方向。

實驗數據的分析整理需用到很多程式及數學觀念，在自然專題研究之餘，仍要建立一套屬於團隊的分析套裝制度，並加以分工實行。

(2) 紙本資料整理分析

由於紙本科技資料包括了實驗室筆記、期刊、研究報告、科技技術報告、專題選粹、論文、專利及研討會紀錄等等，種類甚多數量龐大，為避免重複研究，縮短研究時程，所以紙本科技資料的整理分類及分析是極其重要的。

一般我們都把紙本資料整理分析分爲四個階段：

- ㄅ、資料的選取
- ㄆ、將資料摘要下來
- ㄇ、將資料分類備用
- ㄏ、將資料編輯分析

4. 撰寫自然專題研究報告

撰寫研究報告是將自己團隊所進行的專題研究畢其攻於一役，一個好的自然專題研究題目不只是在實驗研究階段的努力，最重要的是在研究之終，仍是要寫出一篇完好的專題研究報告，這是實驗研究階段結束後的報告撰寫實務，將在下一段再詳加討論。

5. 自然專題研究報告評鑑

自然專題研究完成以後，其對於學術理論或科技上實際應用的價值如何，必須經過同一類自然專題範圍的研究者加以評定該自然專題研究的價值及貢獻。

對高中自然專題研究範疇而言，其評鑑工具不外乎下列二者：(1) 參加科學展覽競賽 (2) 專題研究發表會

在(1)參加科學競賽方面包括了：區域科學展覽會(北市科展)、全國科展、獨立性的科學競賽(如國際科展、旺宏科學獎)

在(2)在舉辦專題研究發表會包括：專題優選作品發表等

除了得獎爲何作爲專題研究評鑑優劣外，另外下列數項亦是專題評鑑的重大依據：

- ㄅ、自然專題題目在學術上或科技發展上之重要性
- ㄆ、研究方法是否正確、研究過程是否週全
- ㄇ、研究精神及態度如何

- ㄗ、編寫內容是否詳實
- ㄘ、是否具學術價值、是否對科技發展有助益
- ㄙ、專題研究對參與研究學生的研究精神態度是否有所提升

(二) 依自然專題的研究類型提升研究效果

自然學科的專題研究類型分爲：

1. 理論推導專題研究

此類專題以理論推導爲主，藉著理論知識的建立及規律性的推導以得到較佳的研究結果。此類專題研究純屬理論階層，是故研究人員理論基礎需甚穩固。

2. 實驗型專題研究

此類專題研究以實驗爲主，接續以有效率的數據分析整理，以求得最佳的實驗結果，進而應用在生活及科技整合上，但是牽涉到實驗態度、精神及方法的妥善應用，所以難度頗高。

3. 綜合型專題實驗

綜合以上所述之理論推導及實驗並行之研究方式，此類方法屬於折衷研究法，是目前專題研究研究法較常採用的。

二.研究實務的進行

整體自然專題研究實務應包括：

瞭解分析問題→選定研究題目→從事相關科學實驗→收集整理分析數據→獲得結論→撰寫研究報告

其中幾個須特別注意之重點：

(一)在學校開設自然科專題研究方面，須針對專題課程做適當規劃

這些規劃應包括下列各項：

1. 增進研究學生的研究智能
2. 提高學生自然科學研究精神及態度
3. 培養學生獨立自主研究能力
4. 建立資料搜尋能力
5. 增進撰寫科學報告、論文能力

(二)自然專題研究報告的撰寫：

1. 撰寫報告格式

ㄅ.研究動機

ㄆ.理論基礎及文獻探討

ㄇ.研究方法與步驟

ㄏ.研究結果(含數據及圖表)

ㄏ.討論

ㄏ.研究結論

ㄏ.參考文獻

2. 自然專題研究題目的選定原則

ㄅ.同分組的之共同興趣

ㄆ.要以大家共同知識背景為參考重點

ㄇ.難度深淺適中

ㄏ.題目符合社會需求

ㄏ.具有創意、發展性

去.須與指導老師深入討論過

3. 報告資料的蒐集

自然科專題研究常以(1)解決某一自然科學問題(2)對某一待探討自然科學現象做深入研究為主要對象。所以它並不一定要花很多時間在文獻的整理上。而顯得特別重要的是實驗的進行及實驗數據的分析；

一般自然學科專題研究的資料收集來源依性質可分

(1) 教科書 (2)專書、期刊及雜誌 (3)討論資料

相關教科書及專書期刊大略有下列資料：

自然科學期刊 如：電化學期刊 電子材料期刊

專業基本參考書籍

百科全書

自然科學雜誌 如：牛頓雜誌、科學月刊

各種科學專利

大學碩、博士論文

而討論資料包括與指導老師及專家討論

4. 自然專題研究實驗數據分析整理

(1)確實遵守實驗步驟，仔細從事實驗

(2)利用相關有效軟體從事實驗數據整理分析

(3)利用整理分析出之數據歸納出結果及結論

5. 自然專題研究報告寫作原則

(1)掌握主題所涵蓋的範圍及觀念

(2)前後思考模式要一致

(3)主題所欲強調的重點、方法及模式需詳加描述

- (4) 資料與圖表照片的擺設須正確
- (5) 結論(或摘要)需最後才書寫
- (6) 勿過於冗長
- (7) 不適合資料切勿硬行加入

6. 自然專題研究報告發表

通常完成一篇自然專題研究報告後都必須作對外發表，作為提供後續研究或其它相關科學研究之參考，所以專題發表亦是專題研究之重要課題之一。而專題發表可分為(1)公開式口頭報告，(2)書面發表。由於專題發表作者對其研究主題以下過一番功夫，而讀者並非是專研者，所以溝通彼此間的智能與技能就是極為重要的。

若以口頭報告的方式來發表自然專題研究的成果，則主講者須談吐清晰辯才無礙，且表達之內容須條理分明，除了簡要的說明問題內容，詳細敘述研究過程及過程中的任何發現，以及所得結果，最後對於此一問題的研究結果給予有關的建議及評論。

公開口頭報告的另一特點為善用視聽器材及視聽軟體，如光學投影機、單槍投影機、放映機及 power point 軟體等等，這些都能使你的自然專題發表效果更上一層樓。

第二節 高中生自然學科專題研究校內實務運作及資源獲得

一、校內實務運作

(一)、課程內容(領域、研究科目)之選定

- 1.大體上自然學科專題研究分爲應用科學及基礎科學兩大領域
- 2.自然科學專題研究研究科目大致分爲物理、化學、生命科學及地球科學四科及其應用科目

(二)、上課課表之編排

- 1.課程之編排分爲分散式及集中式兩種上課課程表
- 2.課程以上課時間長短分爲單時制及多時制
- 3.課程師資上課方式採跑班制、專班制及混合制

(三)、學生選擇專題研究方向

- 1.自願方案：由學生自行選定研究領域及主題
- 2.遴選方案：由學校遴選出
- 3.實習制方案：先由學生執行一段研習時間，採學生自願報名學校、各領域專題研究課程老師遴選

(四)、上課時間之選定

- 1.學期制
- 2.學年制
- 3.學年制+寒暑假

(五)、學校行政分工

- 1.對於高中生自然學科專題研究校內行政分工大致可分：
教務處掌教學、評鑑、課程編排及實驗室規劃及實驗器材之獲得

- 2.學務處掌參與課程學生生活輔導
- 3.總務處掌上課地點規劃及硬體提供

二、學生自然學科專題研究實務指導

- 1.編訂研究計畫書：研究計畫書就是針對所要進行研究的問題，提出擬定解決的步驟與辦法，以及為要尋求問題解決之辦法所需要的經費、儀器及設備所擬定的計畫書。

由於屬於自然學科之專題研究，所以相關所需的經費、儀器及設備都須事先經過精算及編列。每一個

- 2.題目之決定
- 3.蒐集資料
- 4.撰寫研究報告
- 5.專題研究報告之評鑑

三、自然學科專題研究資訊獲得

相關自然學科專題研究資訊獲得最主要來源有二：

(一) 資訊來源處所

圖書館、政府出版處所、公私立研究機構及高中自然學科教學研究會

(二) 資訊來源刊物

1. 期刊
2. 專業性書籍
3. 碩博士論文
4. 百科全書
5. 報章雜誌
6. 政府機關出版物
7. 專門研究報告
8. 教科書

(三) 自然學科軟體資訊來源

1. 國科會科學技術資料中心網站
2. 國際百科資料庫
3. 各大學圖書館資料庫網站
4. 其它網際網路資料庫

第三節 自然科學專題研究評量

在整個自然學科專題研究完成告一段落後，整個評量後續工作將開始進行，評量是透過技術性的評比，將自然科學專題研究作品的成果變成一種有系統的評分依據。大抵整個可分為平時考評、書面報告及口頭報告。但在自然科學專題研究方面另有一項是其他文史哲學專研所無的評量方式；那就是參與各項科學展覽及科學競賽，不可諱言的這也是一項自然學科專題研究評量的方式，尤其在這幾年以躍為自然科學專題研究評鑑之主流。

1. 平時考評：常以團隊精神、合作態度、投入之精神及方法、缺席率、溝通能力與態度及創新能力為評量主要項目。

2. 書面報告及口頭報告的考評：

大致上書面報告及口頭報告由各指導老師及口試委員共同評分。

而書面報告則依各辦理自然學科專題研究課程單位自行訂定評量標準。但大致可依：1.主題內容 2.架構 3.內容 等等來加以評鑑：

1. 主題內容：

ㄅ、題目是否適切？

ㄆ、題目是否有價值且合理？

2. 架構：

ㄅ、架構是否適切？

ㄆ、架構是否合理？

3. 內容：

ㄅ、研究態度是否嚴謹？

ㄆ、資料取得、處理及分析能力是否完整恰當？

ㄏ、文章及實驗設計、方法是否適當合理？

ㄏ、文字文章是否順暢？詞意表達是否切題？

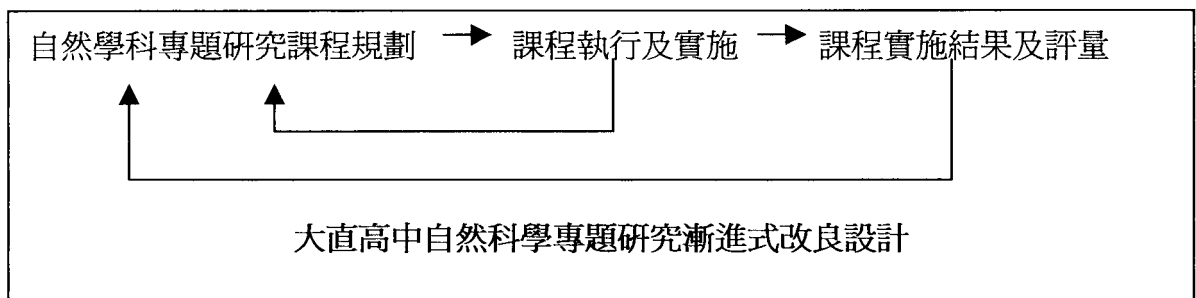
第三章 研究方法

第一節 研究設計

具彈性之設計

一、漸進式的改良設計

在計畫執行過程中改良所出現的問題或不斷修正整個過程步驟及順序。由於本計畫是隨著學校專題研究課程之實施並行進行著，所以可以即時修正計畫窒礙難行的部分並導入較正確的的實施步驟及方法。



二、彈性的課程設計

本計畫較新的規劃設計即是彈性的課程設計，它包含了：

- (一)課程時段設計
- (二)各時段之上課模式
- (三)各課程時段上課時間之設計
- (四)在不同課程時段師資的排定

三、具延伸性的課程設計

建立伙伴學校的自然學科專題研究聯盟

與內湖高中、大同高中、中正高中、東吳大學及成功大學建立自然學科專題研究夥伴關係從事研究及研習活動交流。

第二節 課程設計

本自然學科專題研究課程執行及實施方式計畫中的課程設計為本計畫最主要的部分；它包含了：

- 一課程學段設計
- 二各學段之上課模式
- 三各課程學段上課時間之設計
- 四在不同課程學段師資的排定

現在我們針對這些課程設計作更深入的闡述：

一 課程學段設計：

為了使自然學科專題研究課程更加富彈性且更易實施，特別設計將整個課程分為六個學段：1.自然學科專題研究初探 2.自然學科專題研究各分領域簡介 3.主題研究 4.自然學科專題研究實施期程 5.研究報告整理及撰寫 6.研究報告評選

課程學段	實施時程	學段
自然學科專題研究初探	第 1~3 週	第一學段
專題研究各分領域簡介	第 4~9 週	第二學段
主題研究	第 10~20 週 寒假	第三學段
自然學科專題研究實施期程	第二學期 第 1~8 週	第四學段
研究報告整理及撰寫	第 9~15 週	第五學段
研究報告評選	第 16~20 週	第六學段

表二

1. 自然學科專題研究初探(第一學段)：

- (1) 課程簡介：因為自然學科專題研究課程主要實施於高一，所以整個大體課程介紹是極為必要的。
- (2) 各種自然科學研究法介紹：在高級中學高一課程中並無專題研究法專章之研究，所以爲了使在高一學生實施自然學科專題研究課程能夠成功，各種專題研究法的介紹、研究步驟及報告撰寫方法皆須詳細介紹給研究者(高一學生)。

自然學科專題研究初探	
第一週	自然學科專題研究課程概要 及指導老師介紹
第二週	自然科學研究法介紹
第三週	專題報告及論文寫作法概述

表 三

(3) 自然專題師資介紹：

ㄅ、自然科學領域介紹：包括基礎科學含物理、化學、生物、地科及數學，另外應用科學含半導體物理、奈米科學、生物工程科學及電腦資訊科學。

ㄆ、自然學科專題研究師資介紹：介紹擔任自然學科專題研究各科指導老師，以期學生早日認識老師，裨益專題課程順利進行。(如下表)

指導教師	專長領域	學歷
賴黃絹	生物	中興大學碩士
陳志郎	地科、生物	台灣師範大學碩士
陳煌仁	化學	清華大學碩士
陳秉貴	半導體、物理	中原大學碩士
陳東閔	物理	台灣師範大學博士
鄭兆珍	化學	台灣大學碩士

表 四 (大直高中 93 學年度自然學科專題研究課程師資)

2.自然學科專題研究各分領域簡介(第二學段)：

本計畫課程規劃第二時段在於自然學科各科指導老師領域專長介紹，旨在讓學生初步了解各指導老師的專長，以便高一修習自然學科專題研究的學生在初階段的選擇自己高度興趣的領域之指導老師。

在此時段的領域介紹任課指導老師採跑班制的方式，此種制度在高中相關課程中實屬首創，我們將其命名為領域教師協同教學(如下表)。

本學段的具體實施方式為：

- (1).二至三老師或學科
- (2).可同領域或不同領域老師合科進行
- (3).每一領域分配時間約十五~二十分鐘

3. 主題研究(第三學段)：

各領域指導老師主題教學，上課地點依指導教師在各班教室、專科教室或實驗室。在主題教學此時段中最重要的任務是學生需完成繳交研究題目及專題研究計畫書。

另外因主題研究時段涵蓋含假期，所以寒假期間學生具有完整之獨立研究時間。

主題研究微學生之實質研究階段，研究可採個別研究及小組合作研究。教師並可在此段時間指導學生研究法及研究架構擬定。

4.自然學科專題研究實施期程(第四學段)：

此學段主要工作為指導學生研究結果分析整理及討論，並作簡單的小組發表會。

5.研究報告整理及撰寫(第五學段)：

研究報告撰寫，依論文撰寫格式，指導老師指導學生撰寫研究報告。

6.研究報告評選(第六學段)：

學生繳交研究報告，老師評閱學生專題研究報告並評選優良作品，指導老師亦同時指導學生利用專題研究成果參與、辦理各項科學展覽活動競賽及優選作品發表會。

二 各學段之上課模式

1. 第一學段：採高一全體學生集體教學
2. 第二學段：採數班合併式集體教學
3. 第三學段：因係完成各領域分組，故開始採小班(8~16 人)教學
4. 地四學段：採小班(8~16 人)教學
5. 第五學段：採小班(8~16 人)教學
6. 第六學段：採小班(8~16 人)教學

除了傳統式的評定考核學生專題成績外，另一個較新的評定方式為優秀作品的專題論文發表，但優選作品發表採研討會模式，並聘請相關領域大專教授作評論。因為此學段為專題作者升上高二時才實施，所以再優選專題作品發表時可由高一學生列席發表會，並學習一些專題發表的技巧。

三 各課程學段上課時間之設計

1. 第一學段：因屬統整性課程介紹，故採講演性授課形式，每節課約 1~2 小時
2. 第二學段：回歸每節課 45~50 分鐘時間
3. 第三時段：因採小班制主題研究教學，所以時間採彈性制
4. 第四時段：採小班制主題研究教學，所以時間採彈性制
5. 第五時段：採小班制主題研究教學，所以時間採彈性制
6. 第六時段：採小班制主題研究教學，所以時間採彈性制

四 在不同課程學段師資的排定

在第二時段及第三時段之交，學生將會以約一週時間選定自己將來自己自然學科專題研究之領域，如此可按選定自然科學領域決定自己的指導老師。

第三節 課程內容實質研究

理論推導型及主題實驗型的研究模式

由於一個普通高中無論是在師資、實驗設備及行政支援都無法達到一定的規模，導致一個自然學科專題領域的指導老師要超收學生，再加上實驗設備的限制都無法讓學生從事自然學科實驗的設計及研究，所以我們就發展出實質課程內容的兩套模式。一是推導型專題研究，另一為實驗型專題研究，這兩樣步驟之執行即在第三個學段主題研究中開始執行。

一、推導型自然學科專題研究

由於高中普遍實驗設備及師資之不足，無法供所有學生從事實驗型的專題研究，再加上學生個人研究態度及精神並不盡相同更加深了研究者對實驗型專題研究的困難度，所以推導型的專題研究因應而生。

推導型自然學科專題研究主要是將已知或是已知但不是眾所皆知的自然理論或現象在無法(或暫無法)以現有設備實驗驗證的情況下，特別以推導、閱讀繕寫、團體討論的方式將這些自然理論現象加以再深入闡明、敘述並寫成報告供其他研究參考。所以推導型的研究首重資料的蒐集，其次為資料的分析及整理，最後以嚴謹的態度將待探討之已知理論現象形之於報告，供其他同領域研究者參考。所以推導型專題研究者應是屬於擅長於邏輯推理、資料分析整理及資料整理繕寫等事項。當然由於推導型專題研究並無實驗過程，所以其在資料上的蒐集、獲得、分析、整理及撰寫將是對研究者的一大考驗。但不可否認的是報告的完成及利用對實驗型自然學科專題研究者將提供莫大及積極的參考作用。

推導型自然學科專題研究

先定下題目 →

資料蒐集閱讀 → 資料分析整理 → 資料整理繕寫 → 完成研究

二、實驗型自然學科專題研究

實驗型的研究法對自然學科專題研究來說是主流，也是極為重要的。尤其會選擇實驗型的專題研究的研究者須具備下列的基本條件：

- (一) 具有獨立研究的能力
- (二) 具有卓絕科學研究精神的態度
- (三) 具有較豐富的學能

所以當自然學科專題研究各領域之指導老師他必須在與專題學生初接觸的時間內，首先必須能適當地找出適合從事實驗型專題研究的學生，並加以培養訓練，這整個培養訓練過程中必須完成包括尋求題目、訂出專題研究計畫、蒐集資料及相關主題研究資訊、研究法及研究報告的撰寫等這些工作都是領域指導老師必須明白無誤的傳授學生。另外實驗守則的熟稔、實驗儀器設備的正常使用亦是由領域指導老師在實驗之初就必須教給專題研究學生，讓他可以很適切的進入狀況，很順利無誤的去進行及完成專題研，而這些步驟都是在主題研究學段就必須開始告知傳授與選擇該領域專題學生。

從事實驗型自然學科專題研究的學生及指導老師從主題研究學段(第三學段)開始直到研究報告整理及撰寫學段(第五學段)都與資料的搜尋及實驗的進行密不可分，所以在長時間的訓練之下研究學生無論在科學態度、研究精神及方法都會有很大的進步，這可使自然學科專題研究品質提高甚多。

實驗型自然學科專題研究

資料蒐集閱讀 →

選定專題研究題目 → 從事專題實驗 → 實驗數據分析整理

自然學科專題研究報撰寫 → 自然學科專題研究報評鑑及發表

第四節 實驗課程規劃研究

大直高中的自然學科專題研究計畫在相關實驗規劃強調：

一、相關專科實驗室的建立

由於本計畫設計將來高一學生如選擇自然領域為其專題研究修習課程，則從事實驗型自然學科專題研究的學生將佔全體學生的大部分，所以本計畫一開始及規劃設計成立了五個相關的專題研究專科實驗室，它包含了：物理實驗室、化學實驗室、生物實驗室、電化學實驗室及半導體物理實驗室。

除了專科實驗室的設立外，本計畫也在實驗室量的規劃下其中物理化學及生物實驗室都規劃為兩間，以便專題研究學生在實驗設備及空間上不虞匱乏。

二、大學相關專科實驗室借用

由於自然學科專題研究的範疇極為廣泛，所以絕大部分實驗設備器材都是高中所付之闕如，這時候與各大學理工相關科系的合作，並借用其儀器以為實驗之用，將是不可或缺且極為重要的。

本校與東吳大學已是多年的合作夥伴學校，由於地緣的關係本校與東吳大學的夥伴關係以提升至交換指導教授的境地。

除此之外本校也規劃與中央研究院植物所、中山科學研究院、稀有動植物保育中心及成功大學微電子所建立更緊密的合作關係，其中與成功大學微電子所亦建立奈米科技遠距教學的教學關係。

三、相關專科實驗講座

配合自然學科專題研究的進行，並提升學生專業實驗的水準，本計畫配合大直高中自然學科專題研究課程之進行特別結合學校行政、學術單位(如設備組、圖書館及資訊組)設計一些自然科實驗講座，藉著講座之進行以提升專題學生之實驗精神、素養及實驗技術，以使專題研究成果更具挑戰性。

第五節 自然學科專題研究評鑑設計及執行

本計畫(本校)自然學科專題研究課程之設計與執行之成效如何是將來專題計畫是否延伸下去的主要依據，所以大凡一個計畫如何都需要適當的評鑑方能驗證出計畫的好壞。所以本計畫除傳統的評鑑項目外，特別設計一些評鑑來作為本計畫修改與否的依據，現依序說明如下：

一、專題領域教師作品交互初選，並辦理自然學科專題優選作品發表：

專題研究成果須擇優辦理發表會，除了讓更多人來公評這些自然學科專題研究作品成果外，還可讓自然學科專題研究作者(參與學生)因此活動的辦理而具發表之能力，除了訓練組織、語言及發表能力外，亦能使學生應而具備寬廣之宏觀意念及增廣見聞。而由於多人之公評，作者需不斷修改自己的專題研究文章作品，修正自己的研究方法，所以專題研究優選作品發表是自然學科專題研究課程執行所不可或缺的。

當然並不是所有專題作品都須經過優選作品發表的步驟，必須是專題作品中優秀的且具創意的方能參與優選作品之發表。至於哪些作品可進入優選作品發表階段，這可交由各領域專題指導老師交互評分、篩選，最後評定出一定比率之自然學科專題優選作品。

優選作品發表會之形式最好應比照中大型學術研討會一般，尤其在氣氛及硬體設施上均須達到一定的水準。當然也要邀請相關領域之大學教授蒞臨做講評工作，如此就能因優選專題作品之發表而使整個自然學科專題研究知課程實施及執行工作更上一層樓。

此項評量工作

二、自然學科優秀專題作品參與各類型科展及科學活動，接受外界評斷：

由於自然學科之情況特殊，所以此項評量是驗證專題好壞的首選，所以參加各項科學展覽及科學競賽是一般有辦理自然學科專題研究課程的學校常鼓勵學生的主要工作。參加校際性科學活動及競賽，其作品須達一定之水準，以本計畫為例，此項活動它常是排在校內的專題優選作品發表之後，所以除具有一定水準外，它亦有較高的可看性及學術性。

以高中階段來看，常見或定期舉辦的科學活動有台北市科展、全國科展、國際科展等，私人辦理的科學競賽有旺宏科學獎等等，當然由區域性學校合辦的個主題研討會亦是本計畫(本校)自然學科優秀專題作品參與競賽的對象。另外參與這些科學活動並能夠得獎則是對本計畫之課程設計及執行產生很大的鼓勵作用，而且因為參與這些活動會使這個計畫或課程設計的方向更走向精緻化及活性化

三、具創意之自然學科專題研究作品申請專利：

高中生優秀專題研究作品參與專利申請及發表對高中教育來說屬於首創的規劃，尤其是自然學科專題研究作品更是屬於歸類為專利發表的最優先一個群組。大直高中自然學科專題作品之各領域老師都是學有專長且曾於知名研究單位從事過研究成果申請專利並發表的主要工作，所以大直高中的自然學科專題研究課程就高度鼓勵學生在完成專題後則優作品申請專利，並將此項規劃列為學校自然學科專題課程評鑑的主要依據，用以判定專題課程執行之成效如何！除了將優秀專題作品規劃專利申請外，申請專利是一件繁複且分工精細之事務，所以本計畫將著手建立一套適用於高中生的自然學科專利申請的準則。

第四章 研究結果

第一節 自然學科專題研究課程設計研究結果

一、完成理論推導型及主題實驗型的研究模式

採理論推導型及實驗主題課程並行的研究效果最佳，由於參與自然學科專題研究課程的高一學生無論其性向、興趣有所不同，再加上獨立研究的能力亦有差距，所以兩種課程宜並行實施。

在這種特殊並行模式之下這時候各領域專題老師就必須能夠妥為指導學生從事研究。這兩種研究模式的主要差別在研究過程及研究報告的撰寫，推導型專題重資料、資訊的蒐集及分析整理，最後求其完整性以提高參考的價值。而實驗主題課程重視獨立研究的態度及精神，並必須建立正確的實驗方法及研究步驟。所以各領域專題導師必須能夠很週延的去指導學生以畢其功於一役，使這兩種研究模式的研究結果都能達到完整且具可利用的境地。

二、完成自然學科專題研究各學段上課內容之設計

本研究計畫的最大特色就是上課時段之設計，這六大學段分爲 1.自然學科專題研究初探 2.自然學科專題研究各分領域簡介 3.主題研究 4.自然學科專題研究實施期程 5.研究報告整理及撰寫 6.研究報告評選等。這專題六大學段的個別上課內容是本研究所特有設計的。

三、完成自然學科專題研究法

撰寫自然學科專題研究法，有助於專題研究之順利進行。

第二節 自然學科專題研究課程實施研究結果

一、完成專題研究學段之實施

利用高一整個學年來實施自然學科專題研究的六個學段，依學段教材內容需要分配不同長短的學段時間，其中部分學段由領域專題指導老師自行籌畫教授課程，其中較重要的規劃成果有：

- (一)、主題研究(第三學段)：本學段之設計為標準的專題領域指導老師完全自主設計之課程，它是課程之主體，對實驗型課程來講它將是完整的實驗室階段(照片一)，此段學段佔所有學段的百分之七十
- (二)、自然學科專題研究實施期程(第四學段)：本研究計畫規劃此學段之實施極類似主題研究學段，此學段主要工作為指導學生研究結果分析整理及討論，並作簡單的小組發表會。
- (三)、研究報告整理及撰寫(第五學段)：研究報告撰寫，依論文撰寫格式，指導老師指導學生撰寫研究報告。
- (四)、研究報告評選(第六學段)：學生繳交研究報告，老師評閱學生專題研究報告並評選優良作品，指導老師亦同時指導學生利用專題研究成果參與、辦理各項科學展覽活動競賽及優選作品發表會。

二、完成專題領域教師協同教學之實施

此項為本研究計畫經不斷改良研究所設計而成，在此時段的領域介紹任課指導老師採跑班制的方式，此種制度在高中相關課程中實屬首創，我們將其命名為領域指導教師協同教學(表一)。

三、完成設計自然學科專題研究初探學程(第一學段)

因為自然學科專題研究課程主要實施於高一，所以整個大體課程介紹是極為必要的(照片二)。

第三節 自然學科專題研究延伸目標實施結果

- 一、完成設計規劃自然學科專題研究優選作品發表會
- 二、完成自然學科專題研究優選作品編撰(附錄一、附錄二)
- 三、完成建立的自然學科專題研究實驗室

共建立：

- (一)、半導體物理專題實驗室 x1(照片三)
- (二)、電化學專題實驗室 x1
- (三)、生物專題實驗室 x2
- (四)、物理專題實驗室 x1
- (五)、化學專題實驗室 x1
- (六)、專題討論室 x1(照片四)

四、完成建立夥伴學校的自然學科專題研究聯盟(照片五)

藉校際專題研討會與內湖高中、大同高中、中正高中、東吳大學及成功大學建立自然學科專題研究夥伴關係從事研究及研習活動交流。期藉夥伴學校之聯合研究成果再次的帶動高中生的研究風氣。

五、完成建立一套自然學科專題研究成果申請專利準則(附錄三)

專利申請是本計畫所規劃工作項目中最具挑戰性的部份，尤其是在高中階段幾乎很少碰到這個問題，再加上自然學科的專題申請有其一定的難度，所以本計畫將著手建立一套適用於高中生的自然學科專利申請的準則。

六、完成規劃有計畫的培養優秀自然學科專題作者參與科學競賽(附錄四)

自然學科專題研究課程的實施貴在各領域指導老師能在第三學段(主題實驗研究)就發覺有專題研究天賦或獨立研究能力的學生，加以訓練及培養並參與各項科學競賽及展覽活動，以驗證專題課程之成效。

大直高中自 87 年實施自然學科專題研究，參與各類的科學競賽(國際科展、全國科展、台北科展、旺宏科學獎競賽)都獲得不錯佳績(附錄四)

第五章 結論與建議

第一節 結論

自然科學專題研究課程在高中是可行的，根據本計畫規劃的一切可以了解適當的課程規劃、執行架構及執行步驟，對高中生實施專題研究是很適合的，尤其在自然學科方面更是最為恰當。

在本計畫中課程分成學段(teach section)來進行自然學科專題研究，取代傳統的階梯式的課程時段，所以這種學段式的專題教學活動極具伸縮性及前瞻性。

另外實質課程我們分為(1)理論推導型 及 (2)主題實驗型，雖然很多專題研究(含大學專題研究)已在如是進行中，但本計畫正式將這些列入本計畫的理論探討內，如此則自然科學專題進行將更順利將更稍解學校單位的實驗器材荒(實驗器材不夠)及專題實驗的不夠投入問題。

最後仍是要闡明的是；精細的規劃高中自然學科專題研究課程架構、實施步驟及理論建構都有助於實施學校的(1)相關領域實驗設備的充實(2)領域指導老師的背景自然基礎科學知識的加強(3)實施學校專題學生的獨立思考、實驗能力加強加廣。所以高中自然學科專題研究的實施是勢在必行且須加速進行的。

本計畫完成後，本研究計畫將考慮在台北市北區適性學區協助推廣「自然學科專題研究」課程，這是本計畫的最終目的。

第二節 建議

- 一、希望是政府教育局能研究規劃選擇某一適性學區公立高中全面試辦，視效果再加以擴大辦理，以免造成資源難尋或資源浪費。
- 二、高中自然學科專題研究課程之實施需大學相關實驗室提供部份協助，所以與大學結合成夥伴聯盟是刻不容緩的，以大直高中為例；與東吳大學建立為夥伴關係，另與成功大學建立區域性的合作關係，這些政策都讓大直高中的自然學科專題研究水準提高甚多。所以建議是否由教育局出面擔任北市高中與北市週遭大學的橋樑協助建立夥伴關係，由大學指導高中自然科學專題研究之進行，使高中專題研究更加精緻化。

參考文獻

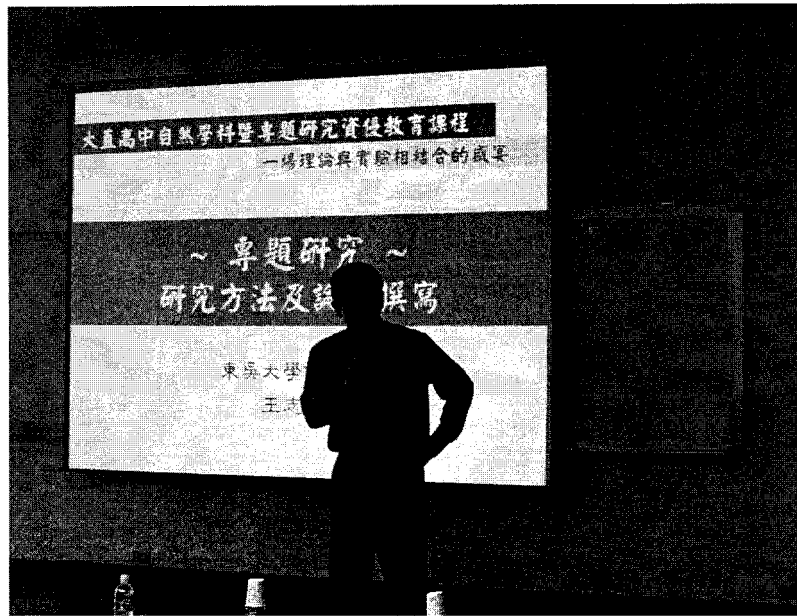
- | | | | |
|-----------|---------------|----------|--------|
| 林登讚(民 79) | 研究方法與論文寫作 | 台北縣 | 超級科技圖書 |
| 陳善捷(民 64) | 如何研究與撰寫論文 | 教育資料科學月刊 | |
| | 第九卷 第二期(民 65) | p.38-39 | |
| 淡江大學 | 研究報告之寫作方法與格式 | 台北 | 聯經 |
| 謝水南(民 90) | 研究設計實務 | 台北 | 心理 |
| 沈中偉(民 91) | 科技與學習 | | |
| | --理論與實務 | 台北 | 心理 |
| 曾淑惠(民 91) | 教育評鑑模式 | 台北 | 心理 |
| 王貳瑞(民 90) | 實務專題製作與報告寫作 | 台北 | 華泰 |



照片一 主題研究學段片段

	物理 半導體			化學 電化學			生物 地科			應用科學		
第六週	H101	H101	H101				H107	H107	H107	H104	H104	H104
	H102	H102	H102				H108	H108	H108	H106	H106	H106
	H103	H103	H103									
第七週				H101	H101	H101	H104	H104	H104	H107	H107	H107
				H102	H102	H102	H106	H106	H106	H108	H108	H108
				H103	H103	H103						
第八週	H104	H104	H104	H107	H107	H107	H101	H101	H101			
	H106	H106	H106	H108	H108	H108	H102	H102	H102			
							H103	H103	H103			
第九週	H107	H107	H107	H104	H104	H104				H101	H101	H101
	H108	H108	H108	H106	H106	H106				H102	H102	H102
										H103	H103	H103

表 五 (大直高中 93 學年度專題研究領域介紹協同教學一覽表)



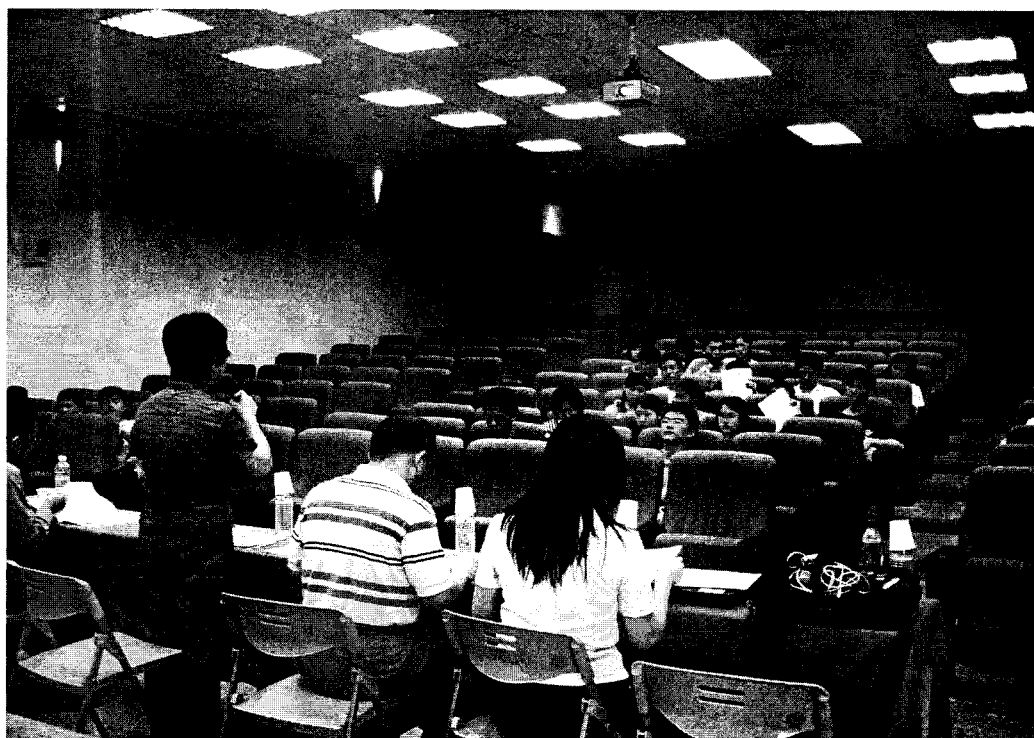
照片二 自然學科專題研究初探學程(第一學段)
聘請專家做專題研究法講演



照片三 半導體物理專題實驗室



照片四 大直自然學科專題討論室



照片五 夥伴學校專題研究研討會

附錄一

大直高中 93 學年度專題研究

優選作品說明書

題目： TiO_2 奈米太陽電池的製作

指導老師： 陳 秉 貴

研究學生： 黃詩婷 柯森喜

壹、摘要

本實驗利用 TiO_2 奈米材料製作太陽電池片，其中配合光敏物質的使用可以使反應光源由紫外線波段調至可見光，使能更有效的使用。

我們用溶膠-凝膠法製作 TiO_2 太陽電池薄膜，這種方法是在高中物理實驗室可以輕易製作的。另外配合導電玻璃的使用使 TiO_2 太陽電池片的測試能更完善。

本實驗電池薄膜的厚度約 $25\mu\text{m}$ ，光敏物質採用亞甲藍，滴加過程中可以很均勻地進入 TiO_2 薄膜中。經照光測試得知最大光電流可達 $120\ \mu\text{A}$ ，是一種蠻有潛力的太陽電池薄膜。

貳、研究動機：

能源之獲得為當今半導體科技要突破所必須克服的課題，尤其須顧及到環保之要求。所以太陽能之研究及使用已經越趨重要之地位。目前太陽電池的製作仍存在低轉換效率及成本過高之問題，在製程設備需求上尤其龐大，不是一般高中校內實驗所能做到。故本實驗利用目前半導體界正大力發展且成本極為低廉的溶膠-凝膠法(sol-gel technique)來製作太陽電池二極體薄膜，以期研發出替代單晶、多晶矽及非晶矽的太陽電池板。

TiO₂為一光敏感 N-型半導體材料，它能利用光的照射產生導電電子而形成光信號訊號。我們利用溶膠-凝膠法在導電玻璃基板上生長 TiO₂ 極微粒多晶體膜 (nanosubgrain crystal)並製作成太陽電池膜(solar cell film)。

在這一套自行設計的二極體薄膜結構中，我們須配合取自天然界的染色子(dye)的加入，染色子扮演著中介的角色，為一種光敏物質，當照光時染色子會促使 TiO₂ 膜所產生電子—電洞對(electron-hole pair)，經由光敏物質所提供較小能隙(band gap)之躍遷路徑，它因此建立自己的一套導電理論機制。

在這裡我們強調利用溶膠-凝膠法製作半導體薄膜是目前成本最低且所需設備最少的一種半導體製作的一種製程，尤其在高中生部份完全是可行的。但不可否認的，用溶膠-凝膠製作半導體太陽電池薄膜其最大問題在於純度的限制。但基本上這問題仍是可解決，目前國內的大積體電路公司亦積極投入溶膠-凝膠，雖然不是太陽電池的製作，但亦意味著溶膠-凝膠法熟將可預見。

參、研究目的：

一、利用簡易的溶膠-凝膠法(sol-gel tech)製作 TiO_2 太陽電池膜，以取代半導體製程複雜的單晶(single crystal)、多晶(polycrystal)及非晶(amorphous)矽薄膜或矽晶片，而此種技術在高中實驗是可行的。

1. 利用溶膠-凝膠法在導電玻璃上生長 N 型 TiO_2 薄膜，並利用退火技術使薄膜更純化甚而晶粒部份擴大，使製作完成之薄膜品質提高。
2. 探討 TiO_2 的薄膜生長速率及其相關條件之影響，以當 TiO_2 薄膜製作的實驗依據。
3. 探討加入光敏物質(天然染色子, dye ; 天然莓類、亞甲藍及葉綠素 A)在 TiO_2 膜中所扮演的角色，及對產生光電流、電壓之影響，並探討其所提供之較小能隙路徑。
4. 探討加入碘化鹽(KI)電解質水溶液(iodide electrolyte solution)在 TiO_2 膜中所扮演的角色。
5. 探討加入碘化鹽電解質水溶液(iodide electrolyte solution)在 TiO_2 膜中所扮演的角色。
6. 探討本實驗光敏物質/ TiO_2 太陽電池薄膜導電電極的製作方式對光能轉換效率之影響。
7. 探討製作異質光敏物質/ TiO_2 N 型太陽電池薄膜之可行性。
8. 探討比較 光敏物質 $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2/\text{glass}$ N-型薄膜之特性。

二、製作原理及文獻探討：

1. 本實驗製作成 N 型的元件，利用光照射在電池薄膜上產生電子-電洞對並使電子移至導電帶(conduction band)，電洞移至共價帶(valence band)而產生訊號(圖 1)，基本上光能轉變成電能之模式。
2. TiO 為一光催化劑(觸媒, light-sensitive catalyzer)，由於本身之空洞缺陷(void defect)會接受因照射光線所產生的電子—電洞對中的電子及電洞，再由導電帶(conduction band)躍遷至共價帶(valence band)而產生光訊號達到太陽電池的功能。
3. 利用天然的染色子(dye)等光敏物質促使電子在 TiO_2 膜中產生並加速移動傳至薄膜中附加的電解質(electrolyte)中，再利用電解解離的離子與電子循環反應達到導電產生電訊號的效果(圖 2)。
4. TiO_2 因屬於大能隙材料(Band gap , $E_g(\text{TiO}_2)= 3.3\text{ev}$, $E_g(\text{CuI})= 3.0\text{ev}$)，所以照光催化光波長位於紫外光區，這是 TiO_2 太陽電池薄膜在工作時最重要的特性。另外 TiO_2 的晶形結構對其催化過程中的得失電子有極大之影響。以 TiO_2 為例一般用作光催化作用的 TiO 有兩種晶形(圖三)：(1)銳鈦礦及(2)金紅石，兩種晶形結構可由相互聯接的 TiO 八面體表示，兩者差別在於八面體的畸變程度及八面體間互相聯接方式之不同而有差異；金紅石的八面體較不規則，

而銳鈦礦有斜方的畸變，這都是造成它們照射紫外光而被催化產生電子-電洞對容易程度與否之主要原因。

5. 另外由於 TiO 的能隙極大(Band gap, $E_g = 3.3\text{eV} \sim 3.0\text{eV}$)，故其只能在照射紫外光的情況下產生電子-電洞對(electron-hole pair)而產生光催化作用。但傳統照到地面日光中的紫外光大概只有 7%能為我們所使用，這種波段限制對我們 TiO 太陽薄膜片的效率將降低甚多。所以太陽電池薄膜上表面的光敏化過程(擴大光催化波段)是使 TiO 催化薄膜吸附一些光敏化合物(如葉綠素、亞甲藍)在表面，提供一個電子、電洞移動的捷徑，進而擴大催化波長範圍至可見光(藍、紫光)，因而增加光催化效率。這整個過程稱為 TiO 催化劑表面光敏化作用(圖四)。
6. 因在光線(或紫外光)照射下，染色子更易產生電子-電洞對在 TiO₂ 膜行進，本實驗即利用此原理製作太陽電池膜。
7. 利用溶膠-凝膠法(sol-gel tech.)將欲製作的 TiO₂粉料研磨並再加入酸類物質凝膠成 TiO₂膜，其製成薄膜微觀之為極微顆粒的多晶(nanocrystalline)，此即具半導體特性。

三、.完整的太陽電池薄膜組合

光敏物質/ TiO₂/SnO₂/glass N-型結構。

是本實驗的最終階段成品(照片一-1)，並透過照光實驗能驗證出太陽電之品質。

肆、研究設備及器材：

(一)儀器設備：

高溫退火爐(360°C ~ 550°C)、精密稱重設備(0.0001g)、紫外燈照射室、三用電錶、乾燥儲存盒、超聲波濾淨槽、紫外燈照射燈座、化學通風風櫃、表面掃描式電子顯微鏡(SEM, 借用)、X 射線分析儀(借用)、薄膜表面平整度及厚度掃描儀(借用)

(二)材料：

氧化鈦(TiO)粉末、導電玻璃(SnO/glass)、玻璃管、石英片、醋酸、研鉢、滴管、蒸發皿、pH 試紙、無塵紙、藍莓淬液、甲基紫溶液、亞甲藍溶液、葉綠素 A 溶液、甲醇、乙醇、丙酮、化學研磨紙

伍、研究過程及方法：

一、N 型 TiO₂ 太陽電池薄膜製作(照片二)：

1. N 型 TiO₂ 薄膜製作

a. 溶膠製作

b. 凝膠製作

以滾輪法在導電玻璃(SnO/glass)上製成 TiO 薄膜

c. 420 ~ 520°C 高溫退火

2. TiO₂ 薄膜染色(表面滲入染色子光敏物質；含葉綠素 A、亞甲藍溶液、藍莓溶液)

a. 泡製天然藍莓、葉綠素 A 及亞甲藍染色子溶液

並觀測其液體溶液顏色變化及敘述其平常用途。

b. 將退火後 TiO 薄膜置入染液中浸泡或以滴管在其上滴入數滴染色子溶液並使其均勻擴散。

c. 取出清洗：以甲醇清洗，切勿再沾到水液。

3. TiO₂ 薄膜電解質化—膜內產生電解質離子

a. 在完成 TiO 薄膜光敏物質滲入之 TiO 薄膜上滴入數滴 KI 水溶液。 上導電玻璃製作

a. 在鍍上 SnO₂ 的玻璃上塗上石墨層形成導電層

4. 太陽電池膜組裝

a. 將導電玻璃石墨層與 TiO₂ 膜相對束緊即成

6. 接上導線形成 TiO₂ 太陽電池迴路系統。

二、薄膜特性測試：

1. 薄膜厚度測試

a. 利用針型微感薄膜探器在基板及薄膜之間移走，量出薄膜厚度。

b. 利用針型微感薄膜探測器量測不同生長時間的 TiO₂ 的薄膜厚度，並製作薄膜厚度—時間關係圖。

c. 利用掃描式電子顯微鏡作剖面照相，量出薄膜厚度。

2. 薄膜成分分析

a. X-ray 繞射實驗→成分確定

b. 利用 EDAX 法→成分分析

3. 薄膜表面分析

a. 利用掃描式電子顯微鏡作薄膜表面顆粒分析

4. TiO₂ 太陽電池薄膜照光實驗

a. 自製太陽電池薄膜照光→量測光電壓、電流實驗。

b. 自製 N-型 TiO₂ 太陽電池薄膜衰退(decay)實驗 (表四)

陸、研究結果：

1. 經由本實驗溶膠—凝膠法及化學沉積法製成之光敏物質/ $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2/\text{glass}$ N-型薄膜品質已足夠製成太陽電池薄膜。
2. 由於本實驗導電玻璃清洗及乾淨度之要求，故 TiO 薄膜與導電玻璃之黏合度極佳不易脫落
3. 泡製 TiO 溶液可加入適當之硝酸或醋酸(其 pH 值介在 3 ~ 4)，其黏稠度已可使 TiO 完全凝膠在導電玻璃上。
4. 加入於 TiO 薄膜表面所使用之光敏物質(葉綠素 A、亞甲藍、藍莓)以能適當溶液(表三)當方法從表面加入 TiO 薄膜，其中最適宜的方法為點滴法(如此可防止 TiO_2 脫落)。
5. 不同光敏物質加入 TiO 薄膜中所製成之太陽電池薄膜其光電流、光電壓有所不同，但再現性頗高。
6. 本實驗製成太陽電池薄膜單層厚度介於
 TiO_2 層：15 ~ 25 μm (SEM 照片六，圖六-1)
7. 本實驗所添加之光敏物質以葉綠素 A 及亞甲藍效果最佳。
8. 本實驗所建立的退火技術已很純熟，除可加速材料內部雜質驅趕外，亦可使 TiO_2 薄膜不易脫落及使 TiO_2 晶粒加大(圖七)
- 9 本實驗所製成之 N 型—光敏物質/ $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2/\text{glass}$ 太陽電池薄膜其照光光電流及光電壓大小如表四。

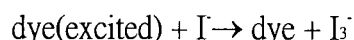
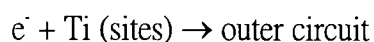
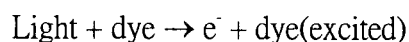
柒、討論：

- 1.在加入光敏物質過程中，須先泡製光敏物質溶液(光敏物質+溶劑)，各種不同溶劑對不同光敏物質之溶解度不同，因此亦影響照光光電流、光電壓反應大小。
- 2.碘化鹽電解質主要為 KI，其離子皆可與照光產生的電子循環反應，達到產生 I_3^- 的效果。
- 3.在加入光敏物質過程中，N-型(TiO_2)的太陽電池薄膜對光敏物質溶液之滲入接受度亦影響照光電流、電壓大小。
4. TiO_2 凝膠退火時溫度須均勻，且溫度約在 $420^\circ C \sim 520^\circ C$ 之間，時間在 1.5 hr ~ 2 hrs，如此則導電玻璃上的 TiO_2 薄膜則不易脫落。
- 5.上導電玻璃製作時，導電石墨層在滾塗時須極均勻，才不致造成照光反應實驗時導電接觸(ohmic contact)不良，造成實驗不便及效果變差。另外可考慮導電層改為蒸鍍金屬層(Au、Ag)以提高導電度。
- 6.溶膠與凝膠時，導電基板(導電玻璃)需要極高乾淨度(如下)：
清潔液清洗 → 超聲波振盪 → 甲醇漱洗 → 丙酮漱洗 → 氮氣吹乾備用
- 9.生長出的 TiO_2 薄膜厚度可用針型微感薄膜探器簡易的量測出薄膜厚度。
- 10.我們亦用掃描式電子顯微鏡(SEM)作剖面照相，量出 TiO_2 薄膜厚度。
- 11.生長出的 TiO_2 薄膜表面狀況亦影響製作成太陽電池的吸收光的效率，我們亦利用掃描式電子顯微鏡作表面品質檢測(照片八)
- 12.至於 TiO_2 成分的確定我們採用 X 射線繞射方式來作成分的檢測(圖八)
- 13.本實驗如能在無塵室進行其效果將更好。由於本實驗自製之太陽電池薄膜並沒有經過半導體製程中的包裝過程，所以太陽電池膜有部份退化現象，但能在高中實驗室(沒有無塵室環境)製作出太陽電池薄膜已屬不易。
- 18.洗光阻液之過程中須注意勤加更換丙酮及甲醇，以得到一乾淨及無外物沉積之太陽電池薄膜材料。
- 19.本實驗在極其簡陋的環境下(非無塵室)能成長出太陽電池薄膜已屬不易，且與傳統的矽晶太陽電池迥然不同，相信在設備上添購(無塵室及通風化學櫃，氮氣去污系統)及技術上的熟稔，新一代的太陽電池技術將是可期的。

捌、結論：

1. 利用溶膠-凝膠法可製作出再現性很高(yield)之光敏物質/TiO₂/SnO₂/glass N-型薄膜
等太陽電池薄膜，其中 N-型 TiO₂ 薄膜照光電流可達 6mA。
2. 如果在半導體實驗室中從事溶膠-凝膠製程及化學沉積製程其效率及照光電壓將會提升十倍至數百倍，是一個值得繼續研究下去的題目。
3. 本實驗即具由高中實驗室實驗提升至半導體實驗室階段，對人類能源之發展將會有很大幫助
4. 本實驗光敏物質/TiO₂太陽電池薄膜及光敏物質(藍莓、亞甲藍、葉綠素 A)系統其理論機制如下：

N-型：TiO₂



5. 本實驗已突破，可由普通實驗室的溶膠—凝膠步驟製出不錯的太陽電池薄膜。
 1. 由於在非無塵室中無法做太陽電池包裝工作，故完成之薄膜有退化現象(decay，表四)
 2. 直接 N-型 TiO₂ 偶合式太陽電池因具有較高之照光電流及較佳之衰變曲線，是今後太陽電池發展最為可行之研究方向(照片三)。

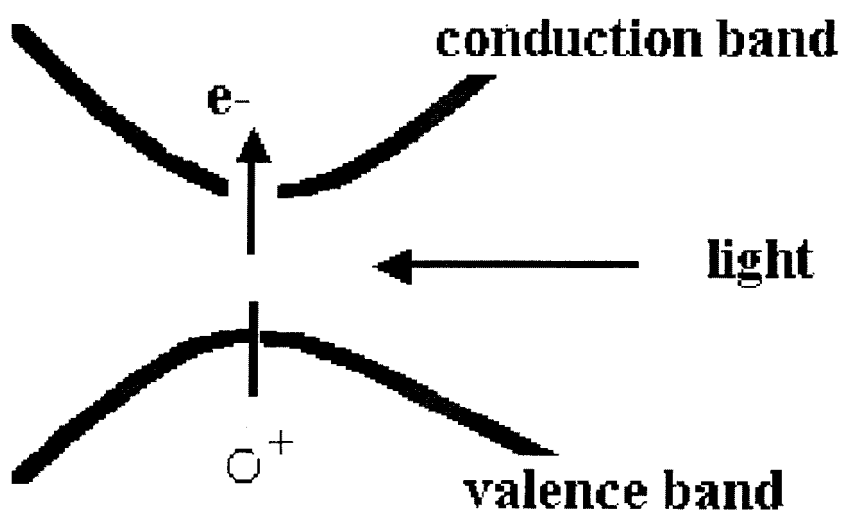
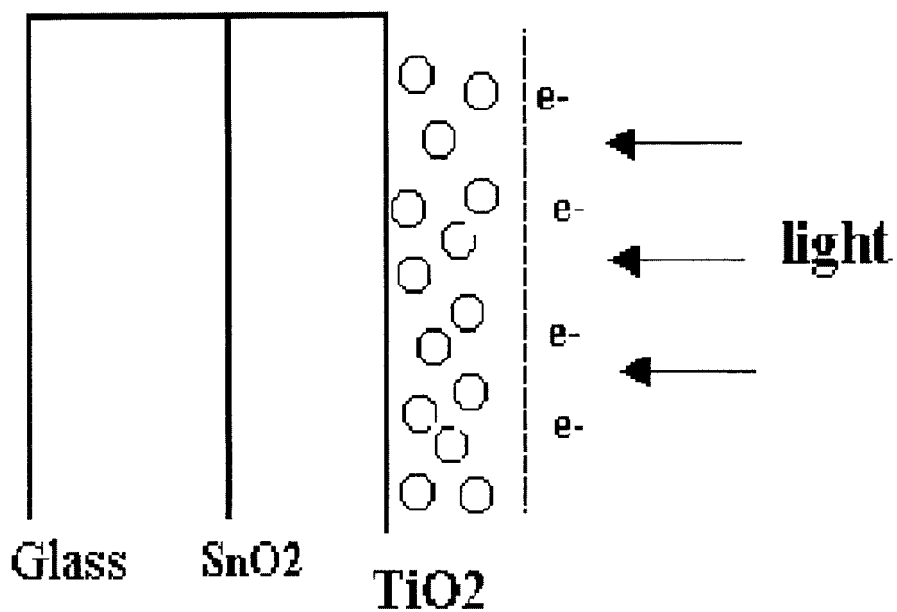


圖 1 太陽能能帶理論(入射光產生電子-電洞對)

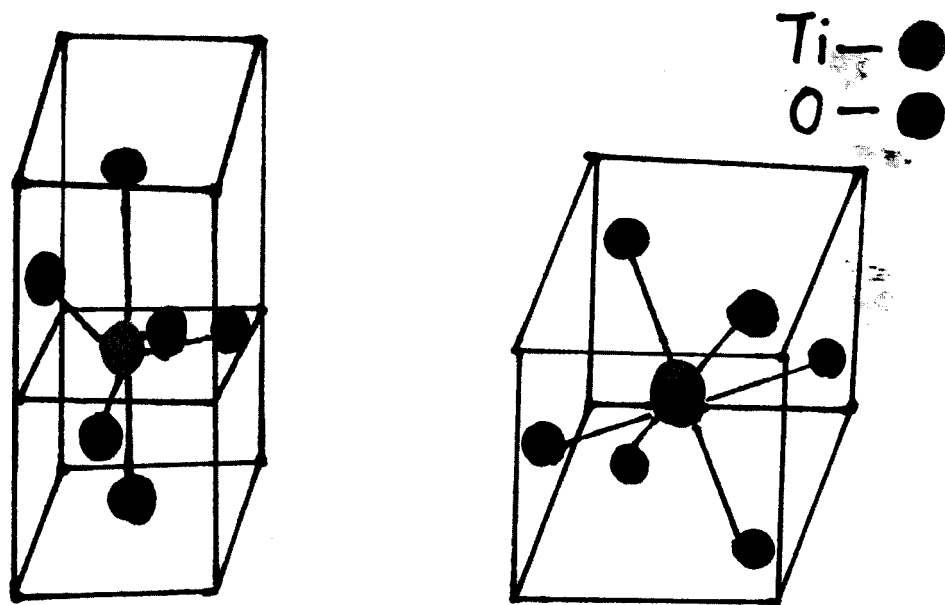


圖 2 TiO₂八面體結構圖

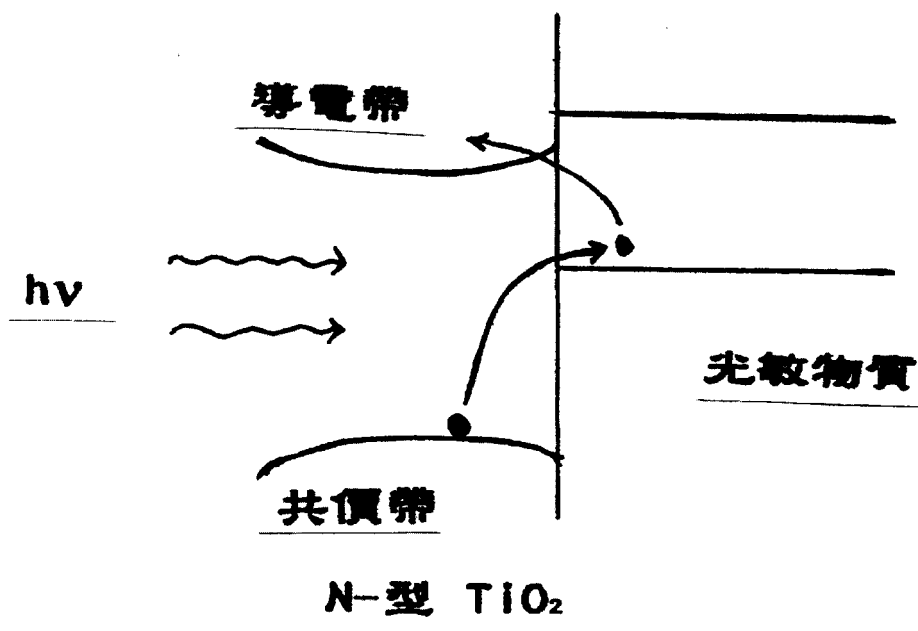


圖 3 N-型 TiO₂太陽電池能帶理論圖

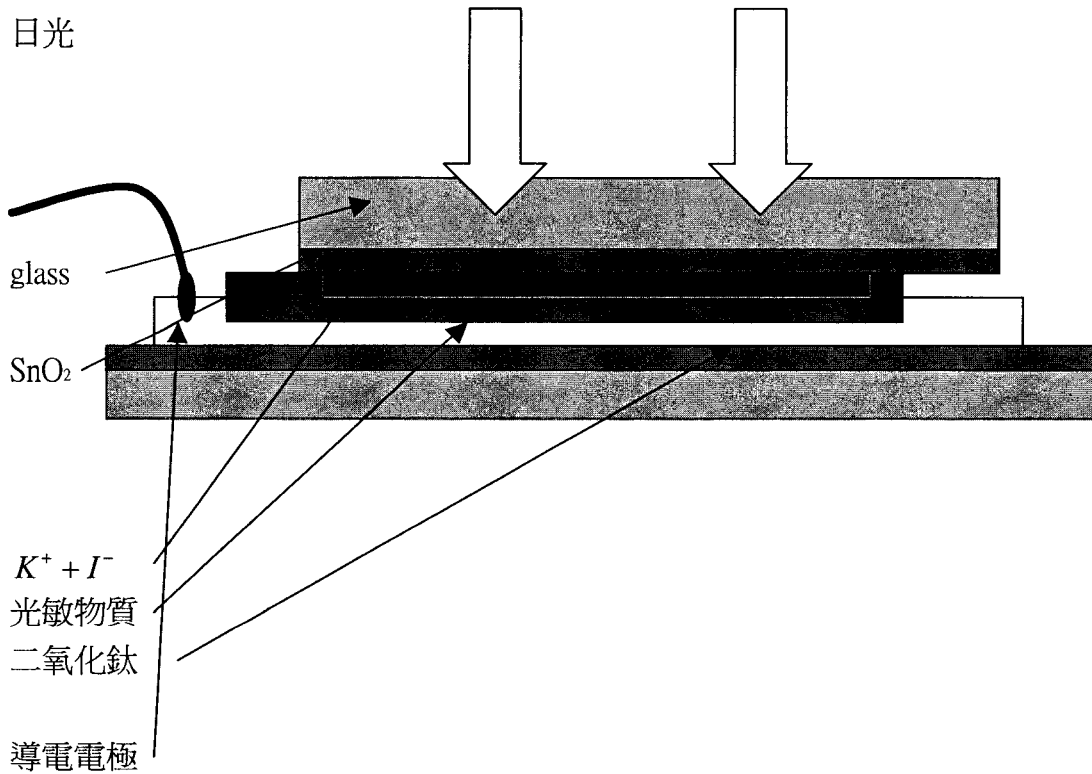


圖 4 光敏物質/TiO₂/SnO₂ N 型薄膜結構

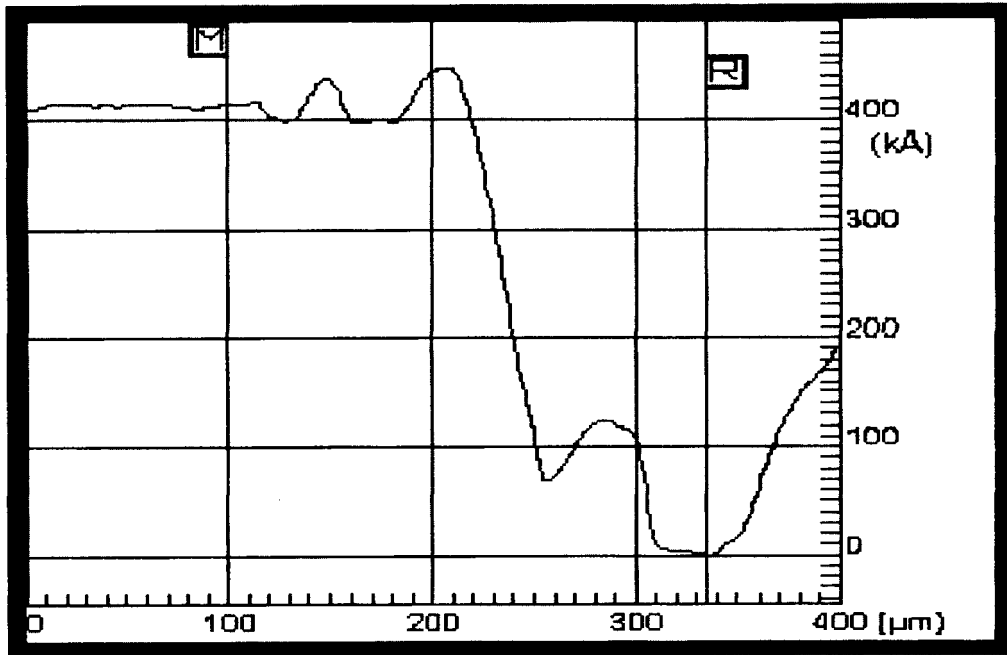


圖 5 利用溶膠-凝膠法生長之
TiO₂ 薄膜厚度圖

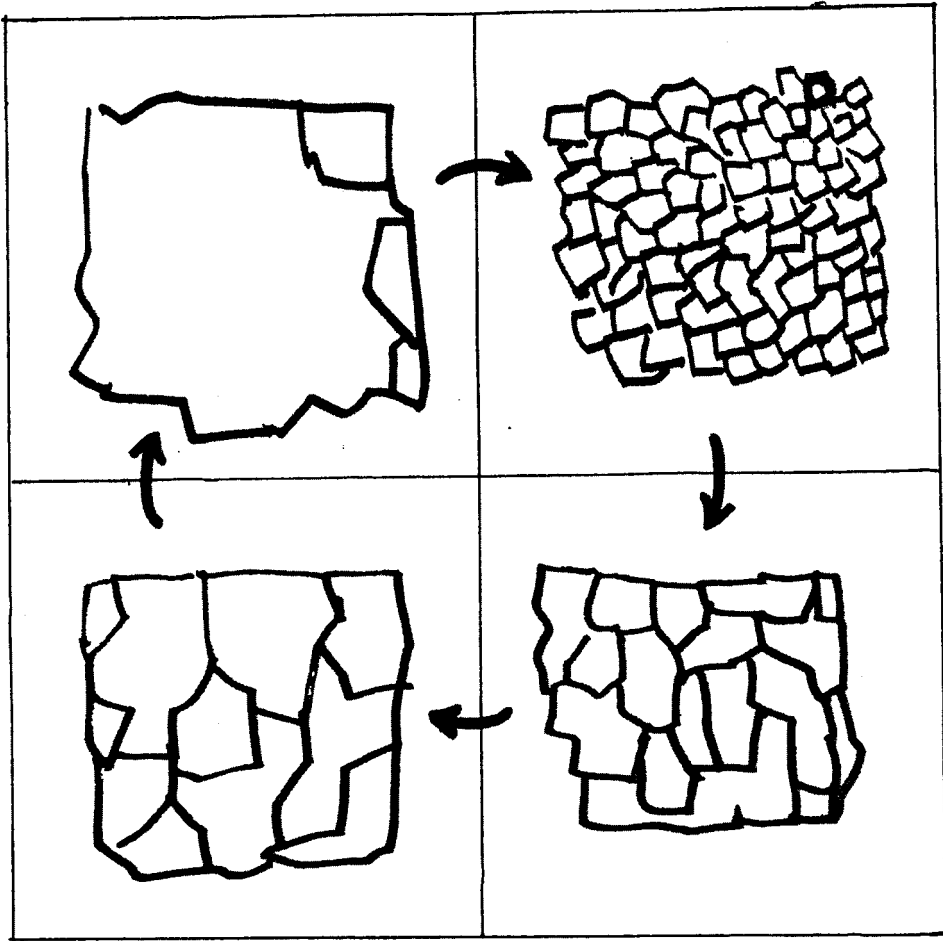


圖 7

TiO₂ 薄膜經退火後晶粒(grain)擴大示意圖

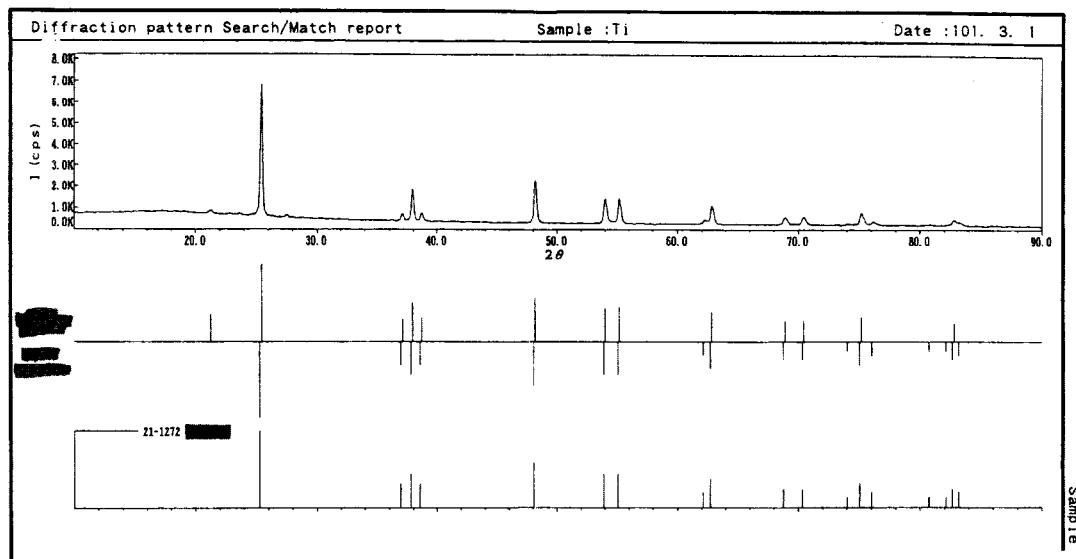


圖 8 N-型 TiO₂ 太陽電池薄膜 X-ray 繞射圖
(可經由 X-ray 繞射驗證薄膜由 TiO₂ 組成)

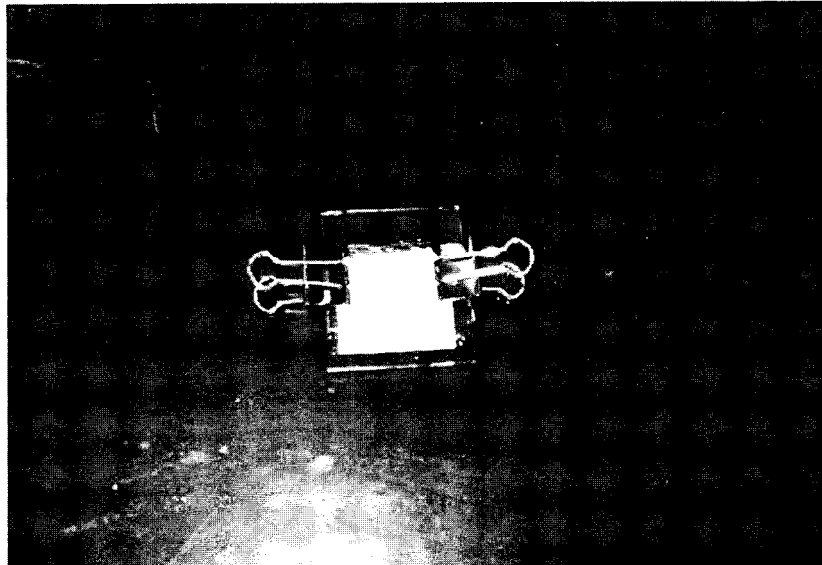
TiO₂ 太陽電池薄膜染色光敏化後特性研究

種類	藍莓苺	亞甲藍	葉綠素-a
點入薄膜	淡紫	深藍	深綠
擴散	中	快	慢
薄膜脫落	嚴重	中	良好
加入 KI 後	些微脫落	尚好	尚好
照光反應	0.5 μ A ~ 0.2 μ A	20 μ A ~ 2 μ A	60 μ A ~ 12 μ A
退化速度	快	中	慢

表 1 TiO₂ 加入各種光敏物質染色製成之太陽電池薄膜照光光電流變化及其它特性表

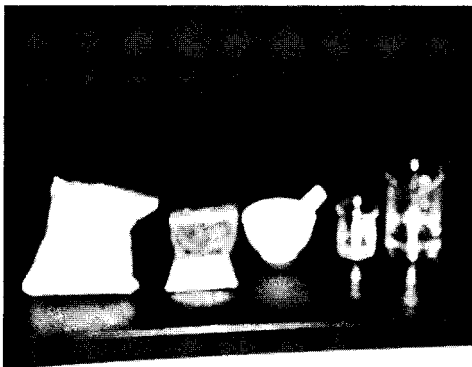
種類	再加 KI	立刻	30 分	一小時
90011901	有	30 μ A	20 μ A	12 μ A
90011902		60 μ A	20 μ A	20 μ A
90011904	有	40 μ A	16 μ A	12 μ A
90011905		0.2 μ A	0.1 μ A	0.1 μ A

表 2 自製太陽電池薄膜的 decay 現象
(由於無法作高真空封裝，故皆有半導體晶片之退化現象)



照片 1

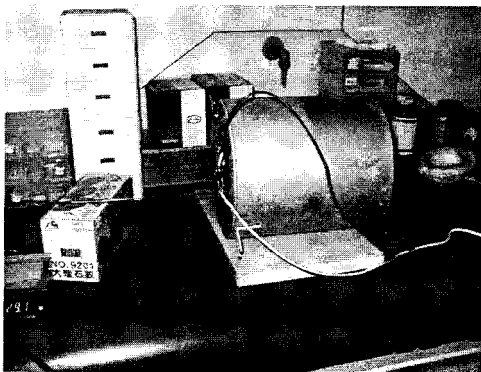
N-型 光敏物質/TiO₂/SnO₂/glass 太陽電池薄膜



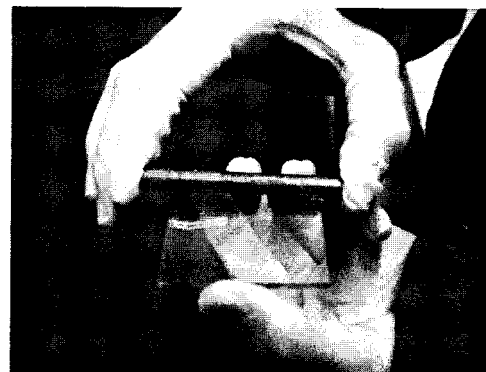
TiO₂溶膠製作



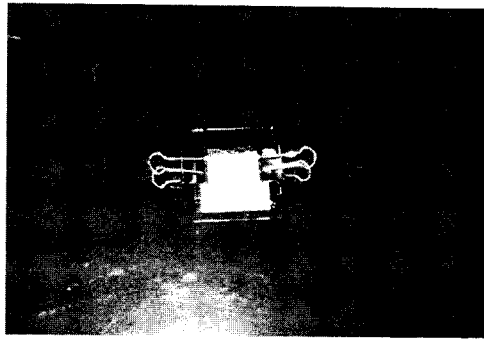
TiO₂凝膠製作



TiO₂薄膜退火

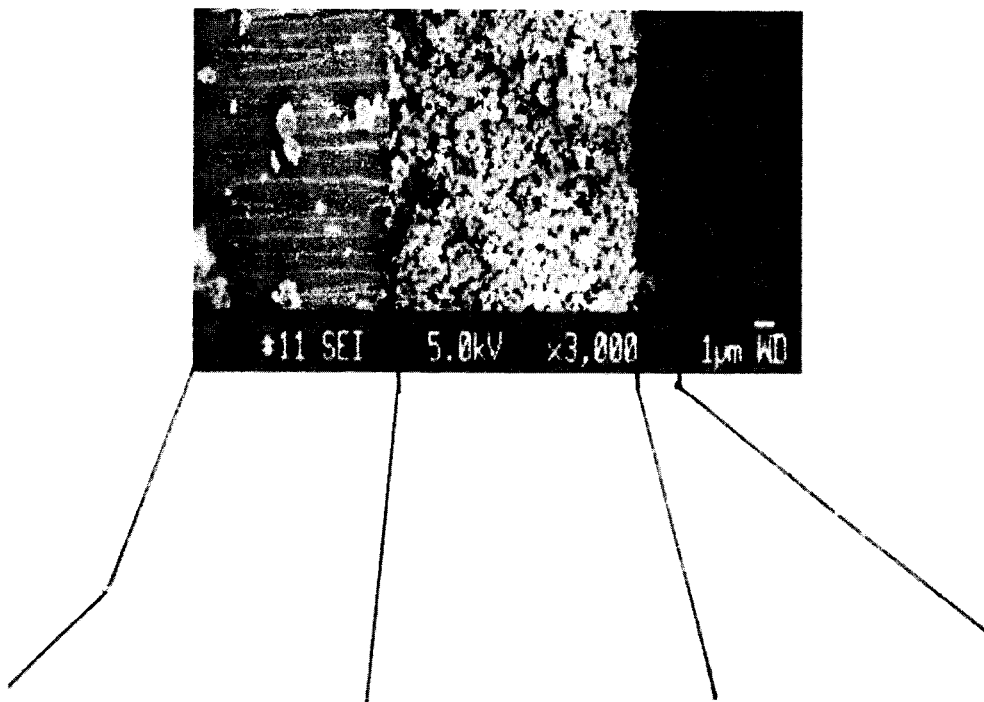


玻璃導電層製作



N-型 TiO_2
太陽電池薄膜完成圖

照片 2 N-型 TiO_2 太陽電池薄膜製作程序



glass TiO_2 薄膜
N-型 $\text{TiO}_2/\text{glass}$ 太陽電池薄膜剖面顯微照片(x3000)
(TiO_2 薄膜厚度約為 10 ~ 20 μm)

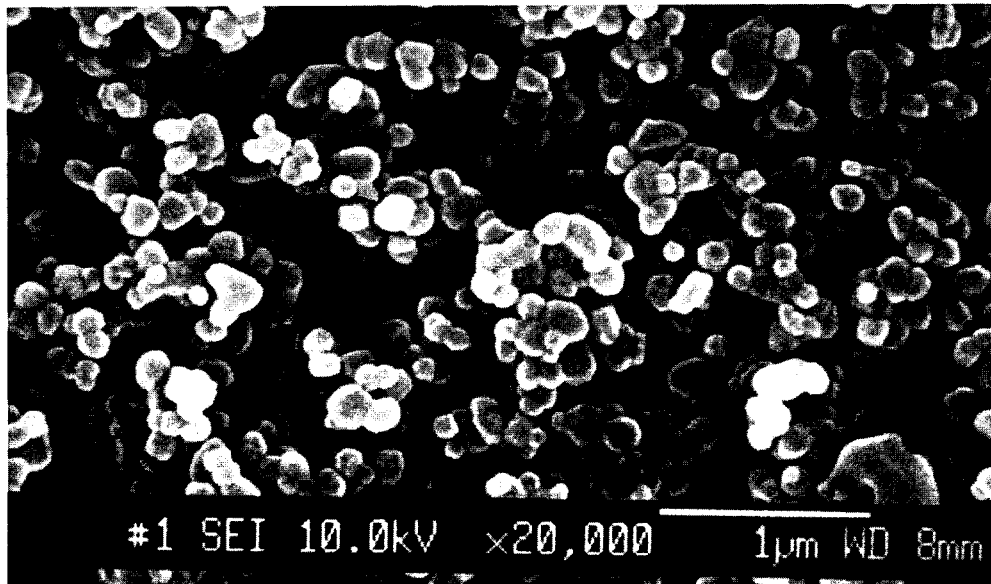


圖 9

N-型 TiO₂/glass 太陽電池薄膜表面顯微照片(x20000)

附錄二

大直高中 93 學年度專題研究

優選作品說明書

研究題目：氧化亞銅太陽電池製作及其晶面再成長實驗

The Fabrication of Cu_2O Solar Cell by Grain Regrowth Method

指導老師： 陳 秉 貴

研究學生： 李禹璇 郭育帆 蔣誌忠 林耀鈺 蔡孟宣

壹、摘要

本實驗的主軸為(1)氧化亞銅光電池製作(2)製作過程中的現象及研製最佳條件的探討，包括單晶區面積的再成長觀測及其相關再成長條件探討(燒結溫度高低及時間長短)，另探討氧化亞銅光電池的製作過程中所出現的現象及中間特性我們可找出最適當的製作方式；如製作過程中的顏色變化與燒結溫度的關係、單晶區面積(grain)變化與燒結溫度及燒結時間的關係等等都是我們氧化亞銅光電池製作的重要課題。另外探討當氧化亞銅形成時亦將大量減去原銅片表面的缺陷及刮痕，這都證明了銅漸漸轉變成了氧化亞銅等新物質。

本實驗的氧化亞銅光電池板採用燒結式(sintering)及氫氧焰熔燒式(melting)兩種，在整個加熱過程中可經由表面顯微鏡觀測單晶區面積的變化及計算、表面顏色的變化來探知氧化亞銅的形成度，當然成份測試及 X-ray 的繞射實驗更可告知氧化亞銅材料的形成與否，這些都是不可或缺的實驗驗證。另外電性測試，如照光光電流、暗電流及開路電壓的量測，及太陽光照度、燒結溫度等特性對太陽電池品質的相關性量度亦是本實驗的主要探討方向。

根據本實驗氧化亞銅光電池暗電流(short current)及開路電壓(open voltage)的測量，我們可算出本實驗氧化亞銅光電池的照光後光能-電能轉換效率(yield)。光電池照光產生電子(也有產生電洞)等反應基本上是一種氧化還原反應(在化學領域內，失去電子即是一種氧化反應)，所以本實驗亦是一種高中化學學習的最佳學習範本。

本實驗研製出的氧化亞銅光電池其單晶區面積(Grain)可隨燒結溫度高低及燒結時間而擴大(enlarge)，其最大單晶區面積可達 $2 \times 1.5 \text{ cm}^2$ ，另外經由暗電流及開路電壓的計算，我們氧化亞銅的光能-電能轉換效率可達 0.36%。另外經由表面顯微鏡的觀察計算我們發覺氧化亞銅單晶區內的缺陷可小於 $200 / \text{cm}^2$ ，這對光電池光能-電能轉換效率可提高甚多。由於大部份電池一般與電解質水溶液混合配置使用，使用方便性極差，所以本實驗特地設計一種 CMC 的糊狀的電解質配合著光電池使用，使方便攜帶的特性大大提高。最後我們將氧化亞銅光電池應用水電解實驗上，一方面將實驗應用高中、國中教學上，另外一方面利用光電池帶動水電解實驗獲得的氫、氧氣來作為燃料電池的材料，這將是開發燃料電池的一個助力。

貳、研究目標：

- 一、探討氧化亞銅光電池板製作方法及不同製作方法對光電池品質之影響。
- 二、探討(一)燒結式及(二)氬氧焰熔燒式法對氧化亞銅單晶面積大小變化相關性。
- 三、探討研製成之氧化亞銅光電池電性(含光電流、光電壓)變化與其燒結時間及氧化亞銅單晶面積大小之相關性。
- 四、利用 Cu_2O 暗電流-開路電壓特性曲線量測光-電能轉換效率，並探討其與燒結時間長短之關係。
- 五、探討氧化亞銅光電池在燃料電池上的應用。

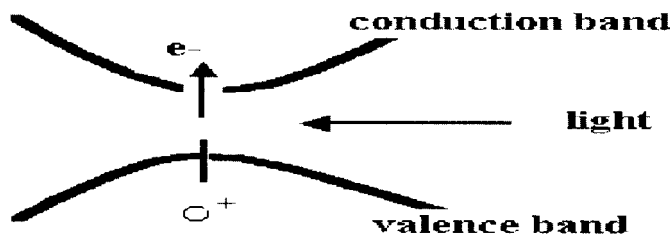
參、理論及文獻探討：

光電池是一種將光能轉變為電能的元件，它主要利用入射光的光能在能隙間產生電子-電洞對，電子再由共價帶(valence band)躍遷至導電帶(conduction band)而導電產生電能(圖一)。

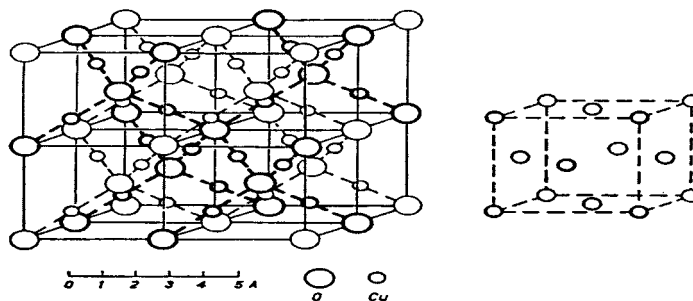
由於氧化亞銅共價帶與導電帶的能差(能隙，bandgap)為 2 e.v. (圖二)，大概相當於可見光波長(黃橙光，6200 埃)，所以基本上這種光電池的使用效率應該會很高。

本實驗的主軸為(1)氧化亞銅光電池製作(2)製作過程中的現象及研製最佳條件的探討。探討氧化亞銅光電池的製作過程中所出現的現象及中間特性我們可找出最適當的製作方式；如製作過程中的顏色變化與燒結溫度的關係、單晶區面積變化與燒結溫度及燒結時間的關係等等都是我們氧化亞銅光電池製作的重要課題。另外探討當氧化亞銅形成時亦將大量減去原銅片表面的缺陷及刮痕，這都證明了銅漸漸轉變成了氧化亞銅等新物質。

本實驗的氧化亞銅光電池板採用燒結式及氫氧焰熔燒式兩種，在整個加熱過程中可經由表面顯微鏡觀測單晶區面積的變化、表面顏色的變化來探知氧化亞銅的形成度，當然成份測試及 X-ray 的繞射實驗更可告知氧化亞銅材料的形成與否，這些都是不可或缺的實驗驗證。另外電性測試，如照光光電流、光電壓的量測，及太陽光照度、燒結溫度等特性對太陽電池品質的相關性量度亦是本實驗的主要探討方向。

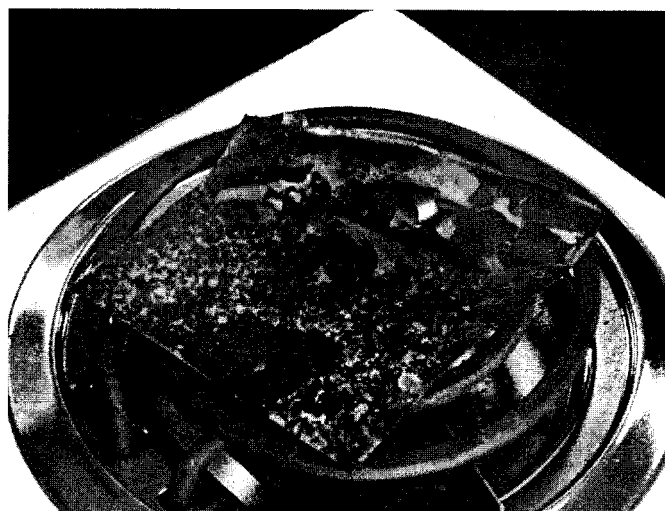


圖一 能隙電子受光躍遷圖



圖二 氧化亞銅結構圖

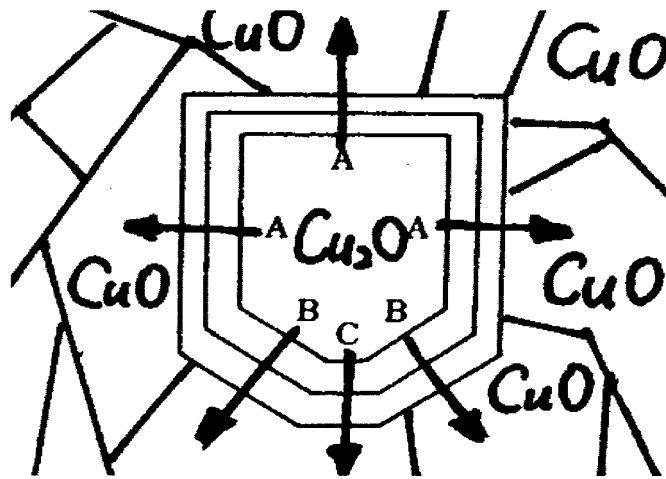
由於氧化亞銅的熔點趨於 1100°C ，其形成溫度頗高，所以一般都用部分燒結法製作(圖三)，但效果及氧化亞銅結晶面極不完全，效率甚低。所以本實驗採用直接以氫氧火焰直接熔燒(圖四)，主要是因為高溫效果，較易得到一個完整的氧化亞銅晶面。在這裡我們主要探討在燒結法過程中的單晶面積變化與燒結時間、燒結溫度的關係，因為在不超過熔點的高溫燒結下，其形成單晶面積會較快且均勻。如果溫度過低則會形成黑色氧化銅(CuO)，它無半導體的特性，是不會照光產生光電子的。所以燒結溫度及時間對氧化亞銅光電池的製作扮演著很重要的角色。另外對晶體生長的觀點來說，在熔點下的退火及燒結皆對單晶面的生長擴大有密切關係。由於金屬物質在高溫燒結或退火之下，它的每一單晶面區(grain)將從界面(boundary)之處由多數個小單晶面互相結合成較少數個單晶面(圖五)，意即單晶面區加大了。這種單晶面區的大小及數目將是影響光電池光電性質的主要影響因素。



圖三燒結法氧化亞銅製作



圖四 氫氧焰熔燒法製作氧化亞銅

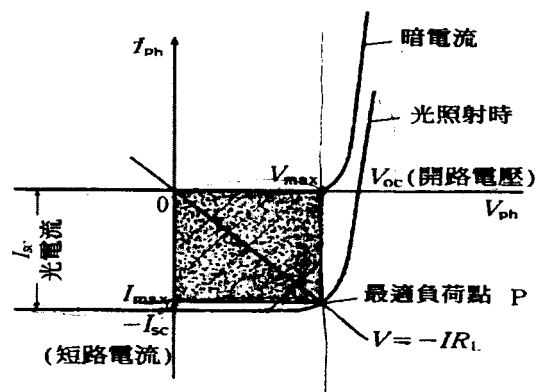


圖五 隨著高溫區溫度增加，氧化亞銅單晶面積增大

光電池的照光反應電壓、電流的大小與光電池受光面積、材料單晶面區大小、電解質種類皆有深入的關係，這也是很多這方面領域研究常探討的項目。

由於大部份光電池一般與電解質水溶液混合配置使用，使用方便性極差，所以改用一種配合光電池使用的糊狀電解質溶液將是光電池發展的主流。糊狀電解質材料及溶液濃度對光電池光電性質的影響及反應狀況是一項即重要的電池製作指標。

太陽光電池品質的一大指標是為光-電能的轉換效率，制式的測試檢驗法為 **暗電流-開路電壓測試法**。在背景無照光及照光的情況下做比較，並利用其電流-電壓(I-V curve)特性曲線算出轉換效率(式 1，圖六)。目前做得最好轉換效率最高成本最低的太陽電池材料為單晶矽(single crystal Si, 23%)及多晶矽(poly-crystal Si, 17~19%)，最便宜的為非晶矽(amorphous Si, 8~12%)，矽族以外材料做成的太陽光電池因為製作技術極為困難所以研究的人較少，但其轉換效率出奇的高(37%)，此類材料如 II-VI 族元素的碲化鎘(CdTe)、硫化鎘(CdS)等等。



圖六 光電池暗電流-開路電壓曲線

$$\eta(\text{轉換效率}) = \frac{V_{\max} I_{\max}}{P_{in} S} 100\% \text{ -----(式一)}$$

V_{\max} 、 I_{\max} 為圖六上之值

P_{in} 為入射光照度

S 光電池單晶區面積

由於暗電流-開路電壓曲線之效果取決於太陽電池本身特性(單晶面大小、漏電流大小及氧化亞銅太陽電池缺陷多寡)，所以暗電流-開路電壓曲線可說是太陽電池品質的指標。

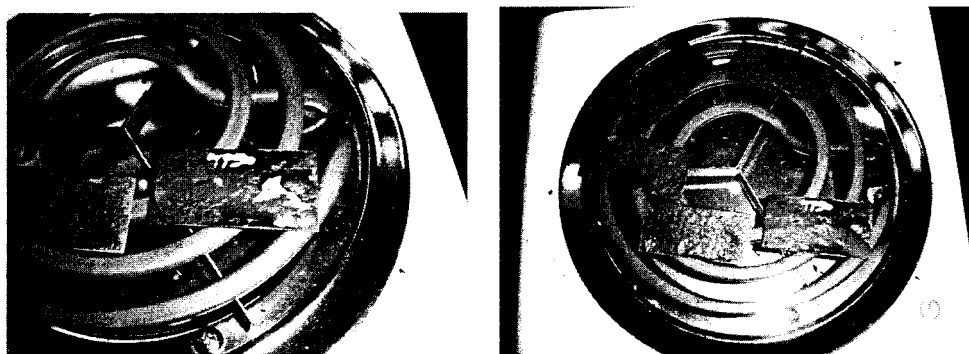
一般來講單晶矽太陽電池轉換效率 27%、多晶矽太陽電池轉換效率 20%、非晶矽太陽電池轉換效率 12%、碲化鎘及硫化鎘太陽電池轉換效率 30% (較難製作)、而非主流的奈米太陽電池(TiO_2)及 Cu_2O 太陽電池轉換效率仍小於 1。

參、研究方法及過程：

一、 氧化亞銅光電池板製作：

(一)燒結式氧化亞銅光電池板製作(圖七)

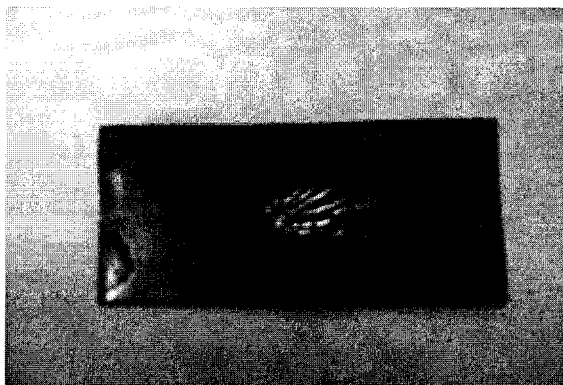
1. 銅片清洗：含磨去鏽蝕、去油漬清洗、超聲波振盪、丙銅甲醇漱洗、通風櫃吹乾。
2. 銅片燒結：清洗過銅片放置電熱爐上、銅片加熱、顏色連續變化觀測、加熱時間量測。
3. 氧化亞銅片冷卻：加熱終了顏色連續變化觀測、自然冷卻。
4. 氧化亞銅後續處理：表面殘留氧化銅刷除、適當保存。



圖七 燒結式氧化亞銅光電池板製作成形

(二)氫氧燄熔燒式氧化亞銅光電池板製作(圖八)

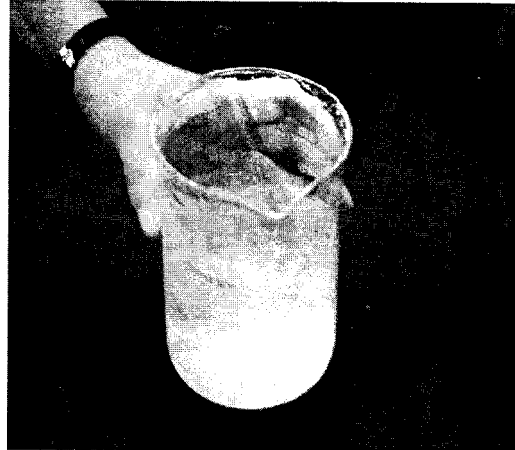
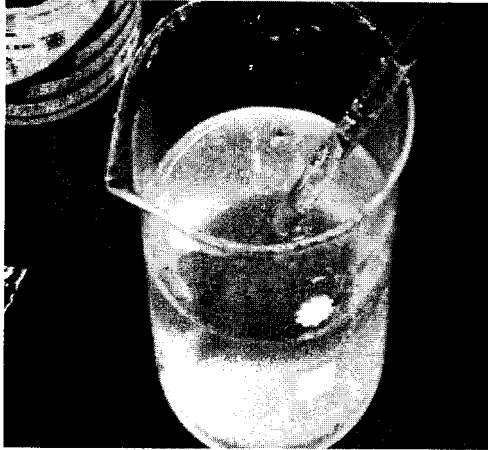
1. 銅片清洗：含磨去鏽蝕、去油漬清洗、超聲波振盪、丙銅甲醇漱洗、通風櫃吹乾
2. 銅片熔燒：快速熔燒、表面觀測找出一電池表面最佳狀況。
3. 氧化亞銅片冷卻：蒸餾水準備、熔燒完成氧化亞銅板快速淬火、隨後放置通風櫃內吹乾。



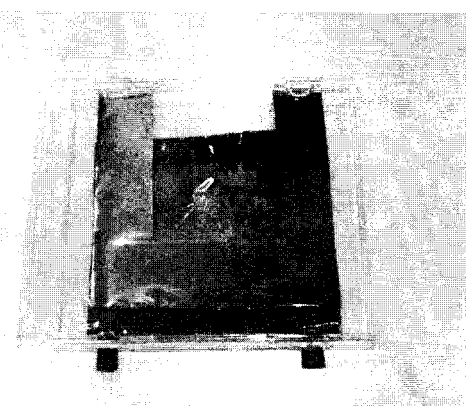
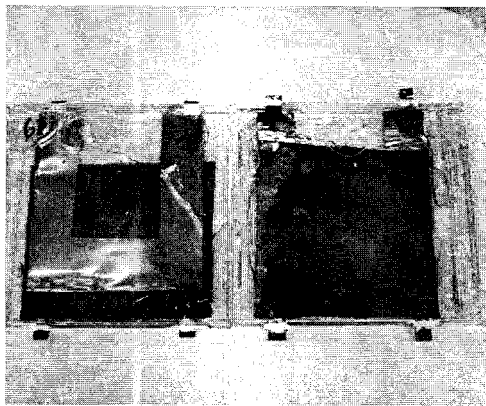
圖八 氫氧燄熔燒式光電池板製作成形

(三) 氧化亞銅光電池板包裝

1. 取熔燒式及燒結式氧化亞銅電池 → 放置入透明CD盒 → 放入正極板銅片配製 → CMC 電解質糊狀溶液(圖九) → 配合 CMC 糊狀電解質溶液包裝成光電池板(圖十)



圖九 自行配製之 CMC 電解質糊狀溶液

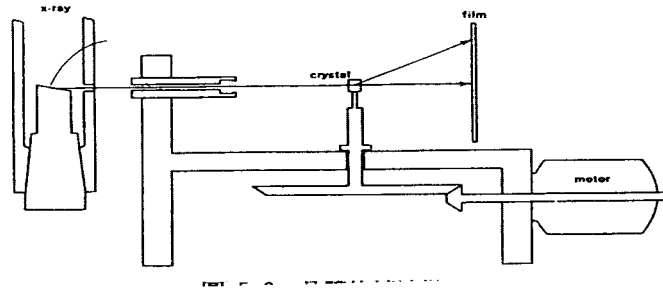


圖十 燒結式氧化亞銅光電池板包裝流程

二、 氧化亞銅光電池片測試：

(一) X-ray 繞射(圖十一)一成份驗證：

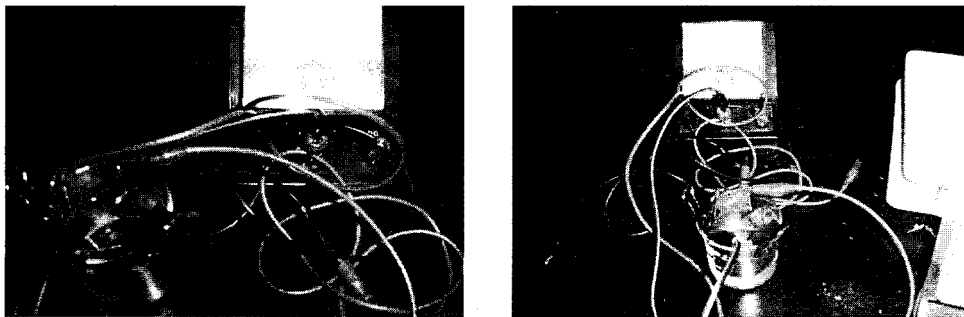
利用氧化亞銅 X-ray 繞射曲線確認氧化亞銅材料真確性



圖十一 X-ray 繞射儀

(二) 氧化亞銅光電池片電性測試：

配製適當電解質溶液在適當照度陽光照射下量製燒結式及熔燒式氧化亞銅光電流並做比較(圖十二)



圖十二 氧化亞銅光電池片光電流量製

三、 探討燒結時間對氧化亞銅光電池片表面單晶面積變化

(一) 燒結時間對表面單晶面積變化之影響

(二) 燒結時間對表面單晶面狀況變化之影響

四、 燒結式及氫氧焰熔燒式氧化亞銅光電池板電性質及狀況比較

五、 觀察熔燒過程中氫氧焰熔燒式光電池板之表面狀況變化並與光電池板形成性質做比較。

六、 氧化亞銅光電池板光能-電能轉換效率測試

(一) 規畫設置一間背景(background)無照光實驗室，利用外加電壓、電流量測畫出外加電壓-電流關係曲線。

(二) 利用可調式光電源照射氧化亞銅光電池從事外加電壓、電流量測畫出外加電壓-電流關係曲線。

(三) 利用步驟(一)(二)所得之電流-電壓曲線計算氧化亞銅光電池光能-電能轉換效率(式一)。

- (四) 探討不同燒結時間之無照光電流-電壓曲線及照光電流-電壓曲線，並研究其曲線特性。
- (五) 計算不同燒結時間之氧化亞銅光電池板其光能-電能轉換效率並加以比較。

肆、討論及應用

- 一、製作出之氧化亞銅光電池板其照光電流變化最高可達 $140\mu\text{A}$ (燒結電池)，而氫氧焰熔燒式電池可達 $165\mu\text{A}$ ，以上實驗照度皆為 26000 Lux ，所以熔燒式的光電池板電性質優於燒結式的光電池板(表一)
- 二、燒結式光電池板可以在舊式的電熱爐製作出(圖十四)。
- 三、氫氧焰熔燒方式可得較大單晶面積的氧化亞銅光電池板，其面積可達 $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ (圖十五)，而燒結式光電池單晶面積皆很小，平均約 $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ (圖十六)。
- 四、隨著光電池板面積增大，可得較大的光電流變化。
- 五、燒結式光電池燒結時間越久，可得越大的單晶面積，最大單晶面積可達 $1.5\text{ cm} \times 1.5\text{ cm}$ ，且其照光電流隨燒結時間越久而增大(表二)。
- 六、熔燒方式氧化亞銅光電池板表面光滑(顯微鏡照相，圖十七 A、B)，將有助於提高光電流。
- 七、糊狀電解質的使用並不會降低光電壓及光電流，且其攜帶方便。



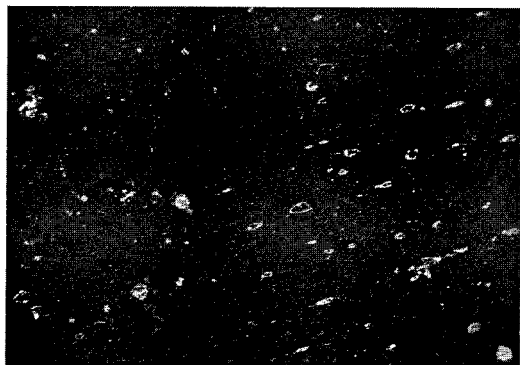
圖十四 舊式電熱爐圖



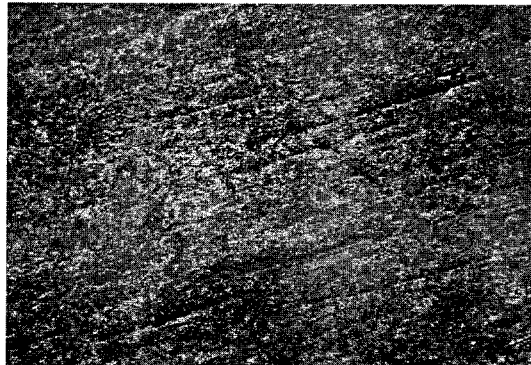
圖十六 燒結式光電池單晶面積(粉紅色部分)平均可達 $1 \times 1\text{ cm}^2$



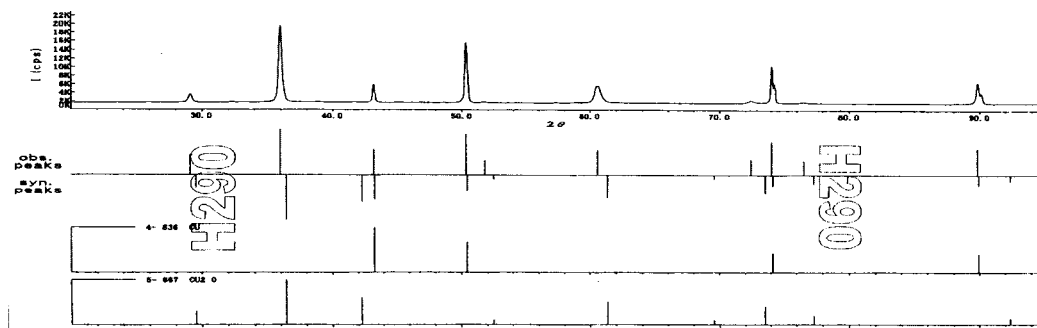
圖十五 熔燒式光電池板最大面積可達 $2 \times 2\text{ cm}$



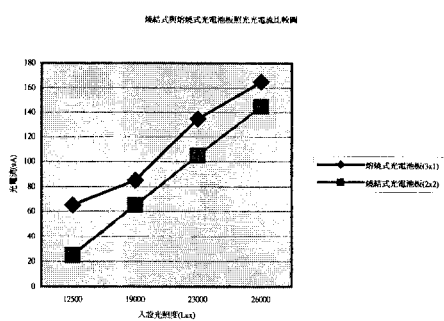
A 熔燒式光電池板表面較為平坦



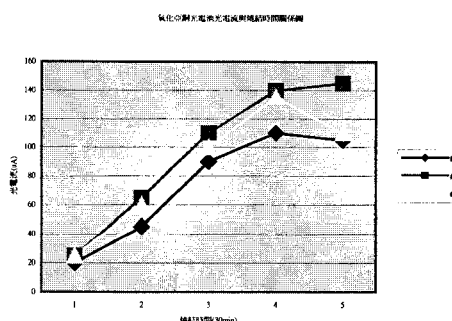
圖十七 B 燒結式光電池板表面粗



如圖十八 本實驗室利用成分分析儀驗證本實驗物質為氧化亞銅

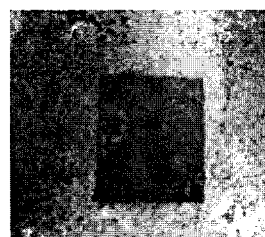
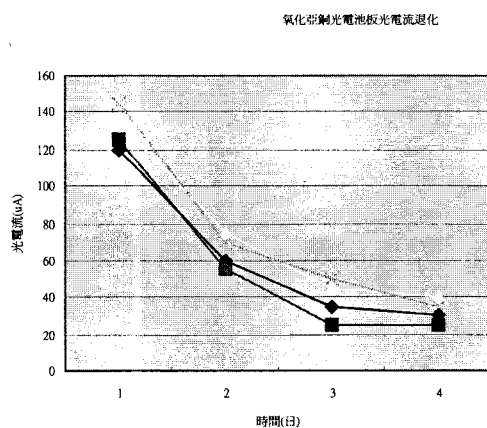


表一 熔燒式光電池光電性質優於同條件下之燒結式光電池

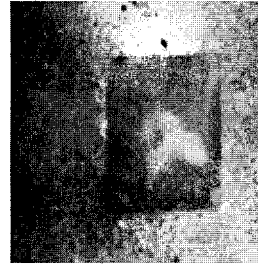


表二 熔燒式與燒結式氧化亞銅光電池光電流比較

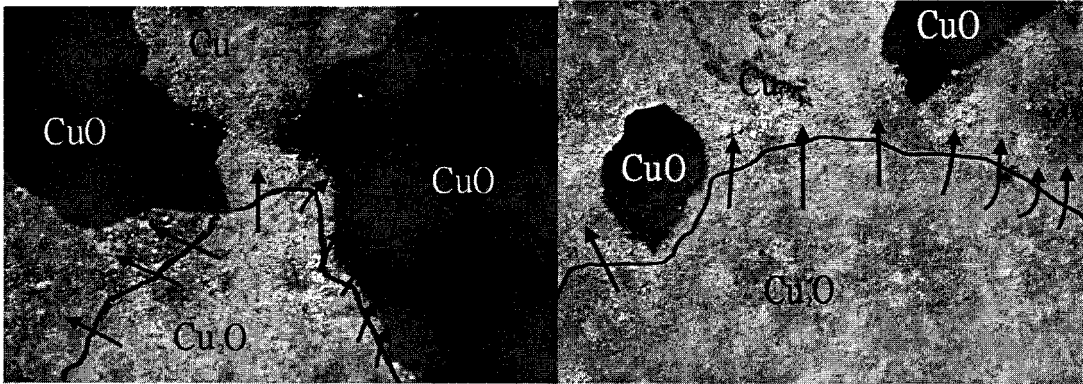
(表三)氧化亞銅光電池光電流衰退圖



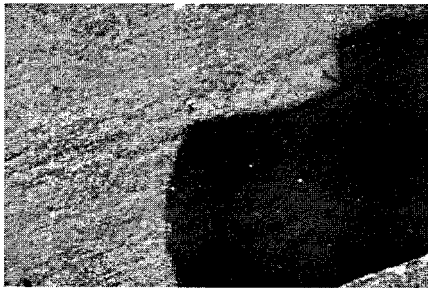
(表三)氧化亞銅光電池光電流衰退圖



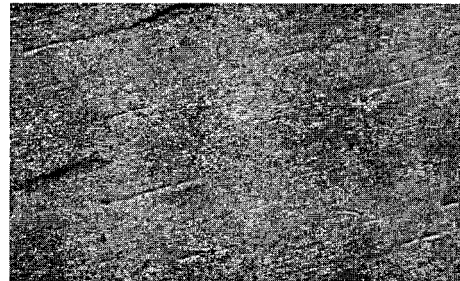
圖十八 A



圖十八 B(燒結時間 200 min)



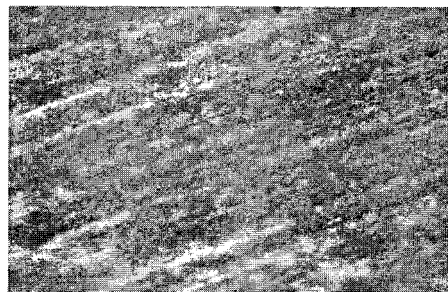
燒結時間 30min



燒結時間 60min

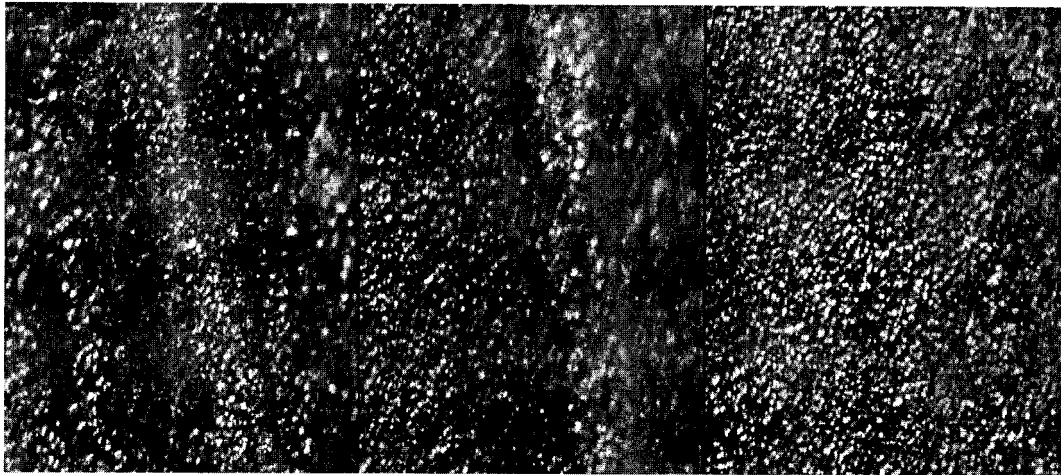


燒結時間 90min



燒結時間 120min

圖十八 C 燒結式電池長時間燒結使氧化亞銅光單晶面擴



銅片 → (燒結) → 氧化亞銅
(明顯看出銅片上的一到刮痕消失中)

圖十九

十一、燒結式光電池隨著燒結時間越長其光電流反應越大，由於其單晶面積越大，這會使照光反應效率大增，使光電流增加，這主要是因銅片加熱到接近氧化亞銅熔點(1100°C)時，金屬銅有先反應成氧化銅的趨勢，再接著反應成氧化亞銅形成光電池薄膜。所以長時間的高溫燒結會促成氧化亞銅單晶面的成長，這就是晶體成長的理論。

十二、使光電池光電流顯著變化的因素為光電池片表面狀況(平坦或粗造，圖十七 A、B)，隨著燒結時間的增加，其表面狀況變化出現兩種狀況：

(一)、宏觀的單晶面積的變大。

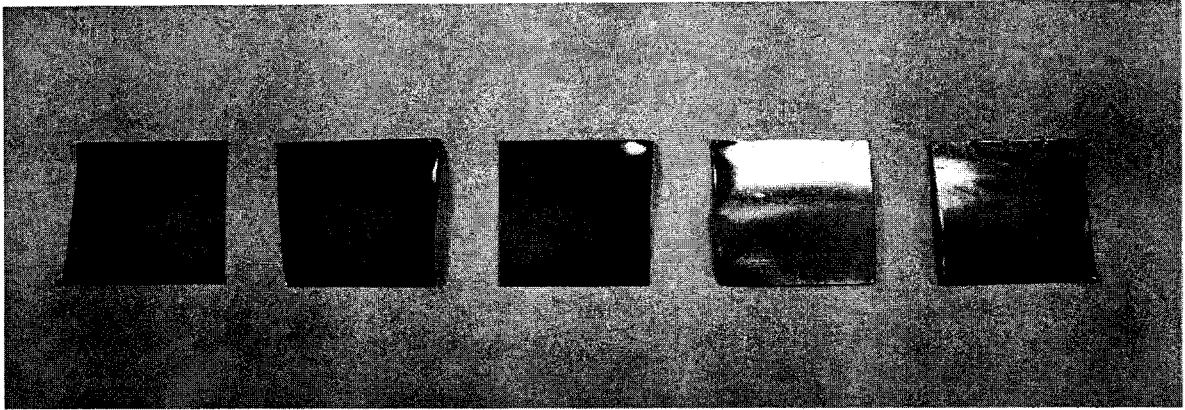
(二)、微觀的電池片表面狀況趨於和緩，且氧化銅(無光電池效應，為黑色)區域趨小。

和緩的表面狀況將造營成一個有效率的電流傳遞機制，使光電流變化加大。

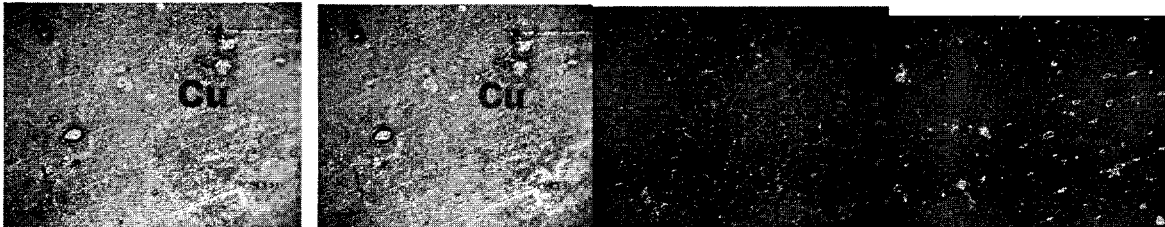
十三、燒結式氧化亞銅光電池板在燒結時，由黃紅色的銅片變成黑色的氧化亞銅，接著再變成氧化亞銅的過程中，連帶著原先銅片中的刮痕或缺陷最後都因粉紅色氧化亞銅的形成而減少或甚至完全消失不見(圖十九 A)，這或許是我們在製作氧化亞銅光電池板時所需特別注意的。

十四、氫氧焰熔燒式光電池板雖其單晶面積較大、且較易製作，但由於其使用溫度極高，且時間極快很難拿捏加熱完成時間(圖二十 A 宏觀變化、圖二十 B 圖二十 C 微觀變化)，如氫氧焰溫度燒低則將生成黑色且無光電效應的氧化銅(CuO)，如溫度燒高則又將在生成的氧化亞銅形成皺摺缺陷(圖二十一)，這將會是光電轉換效率減少甚多。

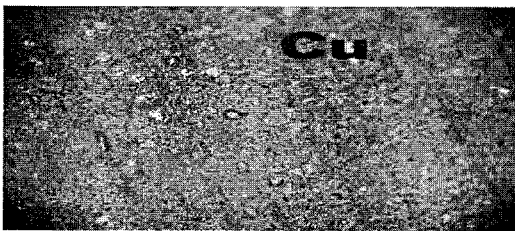
十五、在整個氧化亞銅光電池製作過程中糊狀電解液扮演著一重要的導電角色，這個因素亦會影響著光電池光電流的變化(表四)



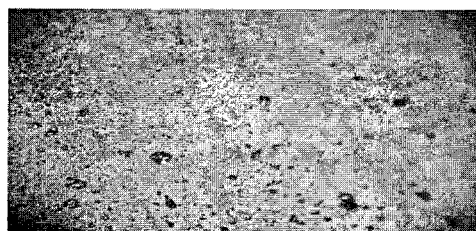
圖二十 A 利用氬氧焰熔燒法因不同燒製溫度所形成的物質變化
 銅 \longrightarrow 氧化亞銅(紅色部分)^o
 (較低溫) (接近 2100°C)



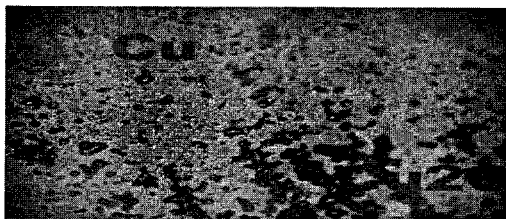
圖二十 B 利用氬氧焰熔燒法因不同燒製溫度所形成的物質變化
 隨著熔燒溫度的提高，氧化亞銅單晶面積的擴大，但因這些變化都是在極短時間內完成，所以很難掌握



(轉化率 0%)



(轉化率 3%)



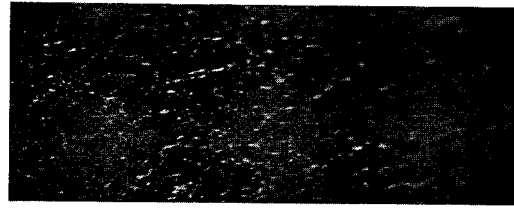
(轉化率 20%)



(轉化率 55%)

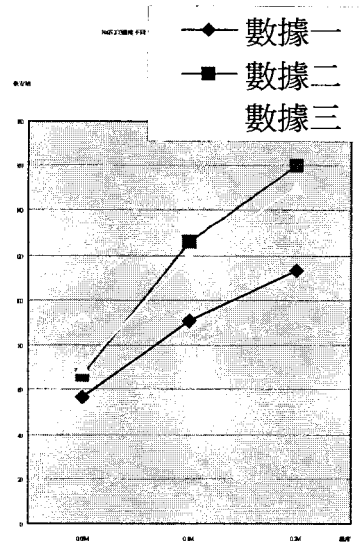


(轉化率 70%)



(轉化率 95%)

圖二十 C 利用氫氧焰熔燒法因不同燒製溫度所形成的物質變化



圖二十一 氧化亞銅熔燒過程中易產生之縐褶

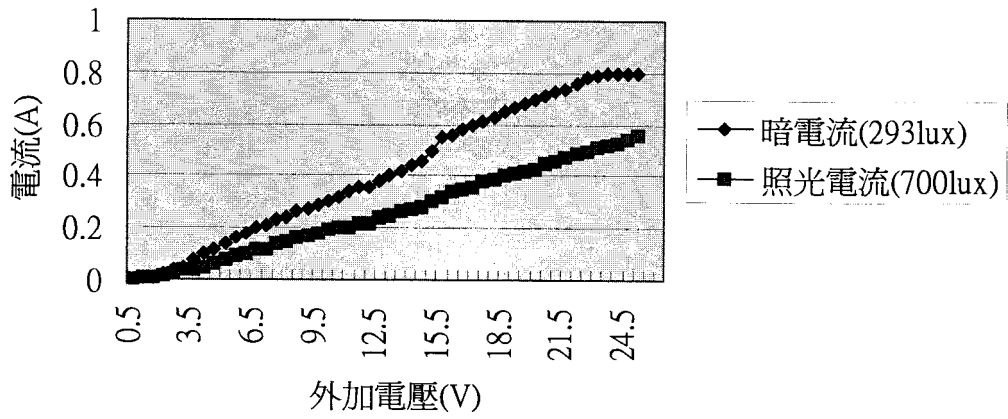
表四 糊狀電解液濃度與光電流之關係

- 十六、利用暗電流-開路電壓測試法測量本實驗氧化亞銅光電池光-電能轉換效率，其測量值僅在 0.01~0.03%之間，此數值屬於極低值。
- 十七、由於利用燒結法製作氧化亞銅光電池，氧化亞銅單晶面區均很小(grain ， $0.01\sim 2\text{ mm}^2$)，當製作形成光電池時，光電流易循著單晶界面(grain boundary)形成漏電流而損失掉(圖二十二)
- 十八、轉換效率主要為所產生電功率與入光射日光能之比值，若因小單晶面區而造成漏電流，致能量的損失，所以轉換效率極低。

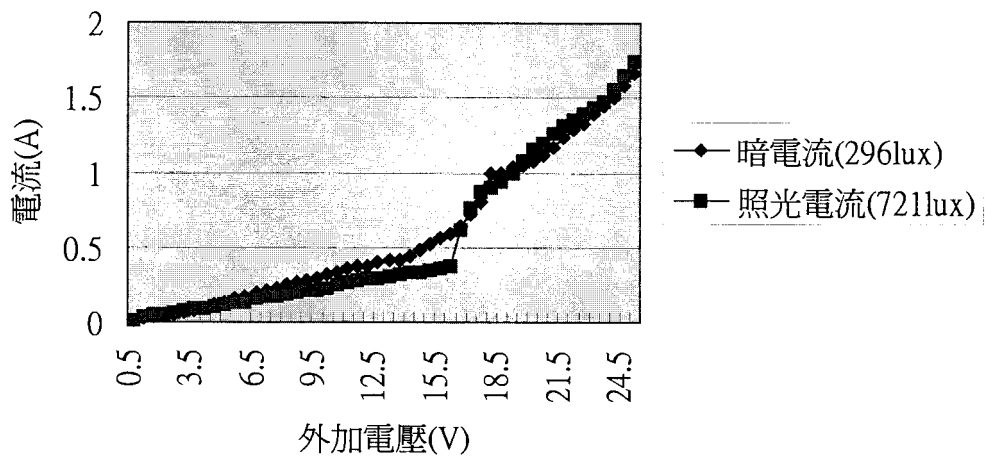
伍、結論

- 一、氧化亞銅光電池片的製作極其簡單，可在高中實驗室製造出。
- 二、製作方法有燒結法及氫氧燄熔燒法兩種，其中以氫氧燄熔燒法較易得到大單晶顆粒電池片，相對的其光電流較大。但再現性不是很高。
- 三、燒結法須極注意其表面狀況，燒結越久其表面起伏越小，較易得到大的反應光電流。另外燒結時間越久，除了使氧化亞銅單晶面積越大提高光電流外，亦可使銅片內部原有的缺陷及刮痕大部消失，間接地提高了光電流的產生。
- 四、氫氧焰熔燒式的光電池板由表面狀況觀察得知其銅相變成氧化亞銅單晶面的時間極為短暫，所以熔燒過程需很快的判斷出是否已生成氧化亞銅(圖二十 A、B、C)
- 五、氫氧焰熔燒式的光電池板其銅-氧化亞銅轉化越完全其光電流越大(表五)。
- 六、糊狀電解質的使用，將有益於提高光電流。
- 七、由於燒結式法製作氧化亞銅光電池其所得的單晶面區極小，邊界所造成的漏電流將隨著單晶面區的加多而增大。我們可由燒結時間長短探討其單晶面區面積的變化與光電流趨勢變化(圖二十二)
- 八、氧化亞銅光電池板的製作是可行的，惟相關密封過程將是關鍵所在。
- 九、氧化亞銅光電池片將可應用乾式電池的製作(圖二十三)及電解水實驗(圖二十四)，因為如此便可捨去較會污染的化學電池，再加上光電池是取之不盡用之不竭的能源且是最乾淨的，所以用在很多電解實驗將是很恰當的。另外可規畫當產生的氧、氫氣導入燃料電池的能源儲存筒將是開發燃料電池的最好燃料來源方向。

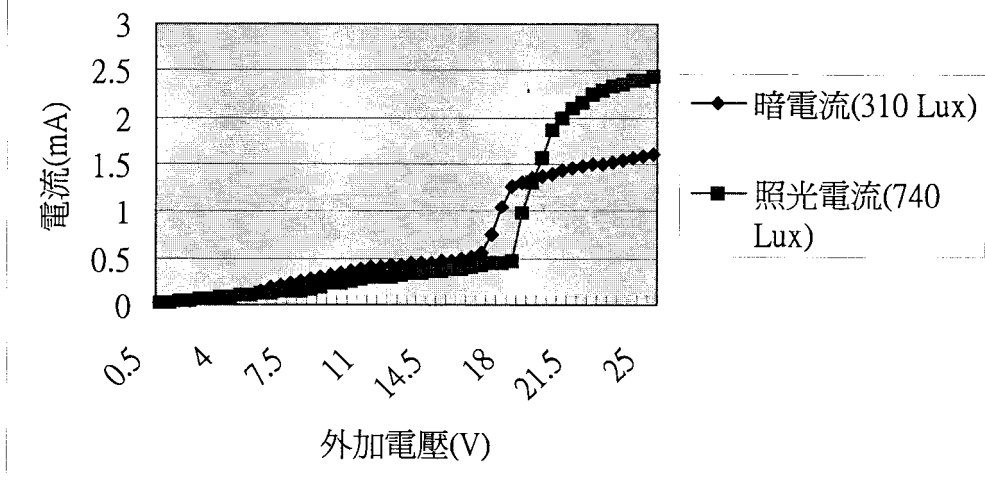
Cu₂O太陽電池電流-電壓圖



Cu₂O太陽電池電流-電壓圖



Cu₂O光電池電流-電壓特性圖

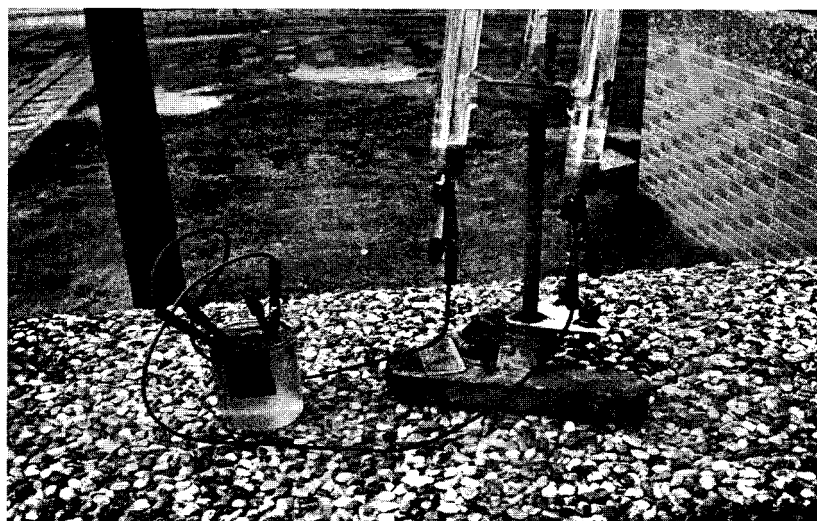


圖二十二銅板燒結時間與暗電流-開路電壓關係圖

燒結時間長 → 單晶面區變大 → 漏電流小

→ 較完美的暗電流-開路電壓曲線

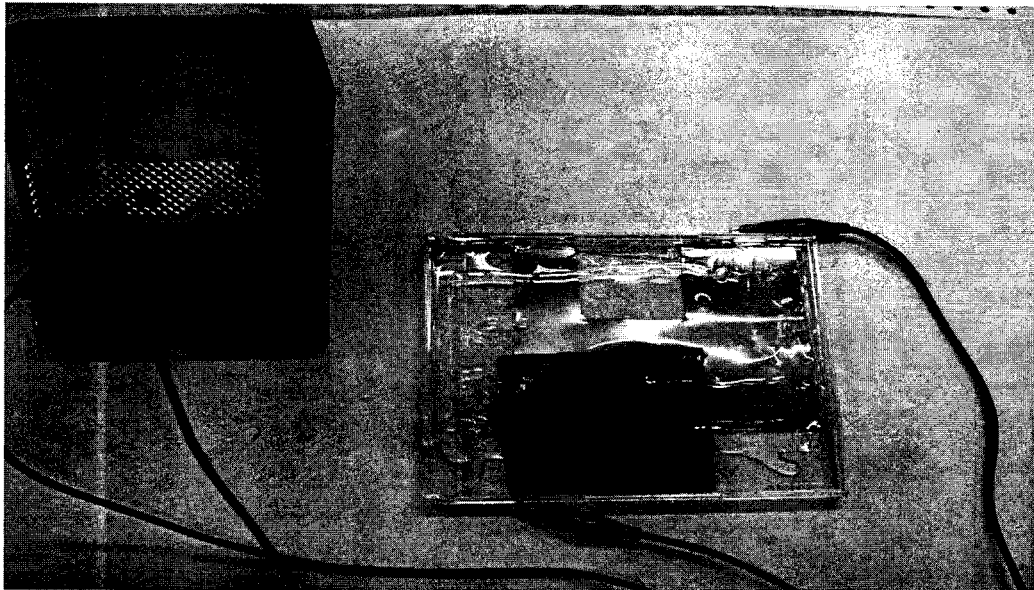
→ 較高的光-電能轉換效率





圖二十三 氧化亞銅光電池板可應用在化學電解上
及燃料電池的設計

水電解(氧化亞銅太陽電池) → 產生 氫氣 + 氧氣 →
 組成燃料電池(氫氣 + 氧氣 → 水 + 電能) →
 通入燃料電池槽 → 驅動車子前進



圖二十四 簡易的乾式電池

附錄三

大直高中自然學科專題研究成果申請專利準則

制定：台北市立大直高中自然科教學研究會

宗旨：提升大直高中自然學科專題研究水準，並提升研究作者的獨立研究能力

做法：將自然學科專題研究作品選擇優申請專利

詳細內容：

壹、本校申請條件：

- 一、具實用性、新穎性、進步性(配合中華民國專利申請審查重點)。
- 二、需能夠提出自我評估表(配合中華民國專利申請須繳交文件)。
- 三、需考慮各國(含中華民國)申請時效性。
- 四、由至少四位自然科老師聯名推薦申請。
- 五、須由夥伴大學相關領域指導教授同意後提出申請。
- 六、能通過中華民國專利審查重點者。

貳、中華民國專利申請要件概述：

一、專利申請三要件：

新穎性、進步性、實用性

二、申請專利審查重點：

1. 是否具實用性、新穎性、及進步性。
2. 說明書是否記載使熟悉該項技術者瞭解其內容並可據以實施。
3. 此項技術在所申請國是否有專利授權之可能性。
4. 該專利提出之產品或製程進入申請國市場之可能性。
5. 與該國現有市場或技術之競爭性。
6. 申請範圍是否適合。

三、專利申請說明書：

應涵蓋發明創作名稱、發明人、申請國家及理由詳述、中英文摘要、發明或創作背景、發明或創作說明、申請專利範圍。

四、申請專利應準備資料：文件檢索、申請書、申請說明書、自評表

五、申請方式：

由服務單位備文，含專利申請書、說明書、及檢索資料各一式五份
逕寄台北市和平東路二段 106 號國科會綜合業務處

附錄四 大直高中歷屆優選專題作品參與科學活動一覽表

- 89年 國際科展 健康與安全獎
溶膠-凝膠法製作氧化鋅太陽電池
吳芊樺同學 陳秉貴老師
- 90年 台北科展 應用科學 特優
二氧化鈦(TiO₂)濾淨薄膜研製
傅蒼如 王曼憬 黃鈺筑 葉昱伶 陳秉貴老師
- 90年 全國科展 應用科學 佳作
二氧化鈦(TiO₂)濾淨薄膜研製
傅蒼如 王曼憬 黃鈺筑 葉昱伶 陳秉貴老師
- 90年 APEC 新加坡 青年科技節代表 吳芊樺
- 90年 大直高中獲 北市科展 團體獎第五名
- 91年 台北科展 生命科學 特優
- 91年 全國科展 生命科學 最佳團隊獎
大直荷花池藻種與水質相關性研究
陳湘靜 陳佩吟 陳怡婷 賴黃絹老師
- 91年 台北科展 電化學 優等
糊狀酸鹼電池之研究
連健宏 鄒偉桐 惠沁宜老師
- 91年 旺宏科學獎 半導體物理 佳作
- 91年 旺宏科學獎 半導體物理 佳作
莊惠燕 潘奕彰 陳秉貴老師
- 92年 台北科展 化學 特優
小型電池研究
連健宏 鄒偉桐 惠沁宜老師 楊全琮老師
- 92年 台北科展 半導體物理 佳作

污水濾淨材料研究及系統設計

賴思宇 郭馥瑢 陳昱榮 鄭武淳 陳秉貴老師

- 91年 旺宏科學獎 生命科學 佳作
- 91年 旺宏科學獎 生命科學 佳作

潘奕彰 陳湘靜 陳佩吟 陳怡婷 賴黃絹老師

- 93年 旺宏科學獎 物理 優等
氧化亞銅太陽電池製作及其單晶面再成長實驗

李禹璇 郭育帆 謝文瑜 陳秉貴老師

- 93年 台北科展 物理 優等
氧化亞銅太陽電池製作及其單晶面再成長實驗

李禹璇 郭育帆 謝文瑜 陳秉貴老師

- 93年 台北科展 應用科學 佳作
織物、塗料奈米添加物之研究

彭薇靜 許舒涵 鄭易 黃葦婷 陳秉貴老師

教育專題研究 (128)

高中自然科學專題研究之課程設計及實施方式研究

發行者：臺北市教師研習中心

發行人：劉智雄

研究者：陳秉貴、賴黃絹

審查委員：臺北市教師研習中心出版品編審小組

張建昱/蔡長艷/張 婷/任光祖/余益輝/賴慶純/徐作蓉/俞宜昉/
李柏圍/潘貞吟/黃惠美/簡麗玲

出版機關：臺北市教師研習中心

地 址：臺北市北投區陽明山建國街二號

網 址：<http://www.tiec.tp.edu.tw>

E-Mail：tiec.@tiec.tp.edu.tw

聯絡電話：(02) 2861-6942

承印者：加合文具印刷有限公司

地 址：台北市中華路二段七十五巷一弄五號

電 話：(02) 23149665

出版日期：中華民國九十三年十二月

I S B N：957-01-9663-7

G P N：1009304677

定 價：200 元