

後記 紅磚牆面白華有救了 奈米科技維護傳統之美

紅磚砌成的房子和牆面作品真漂亮，但台灣天氣很潮溼，白華（即壁癌）處處，現在科技這麼發達，是不是有什麼方法可以救一救這些美麗的紅磚呢？

一進到彰師附工校園，就會被造型特別的「藝術砌磚」作品所吸引，一打聽之下，原來學校出了一位砌磚藝術家粘錦成老師，他的作品遍布台灣各地；這些作品引起了四位彰師附工同學吳佩珊、王郁琪、蔡欣潔、林宛蓁的注意，加上偶然在電視節目中，聽聞紅磚牆非常容易受到「白華」的侵擾，所以決定在學校專題課程中研究解決這個問題的方法。

實驗設計精細 老師從旁協助

但是白華的問題有哪些解決的可能性呢？這傷透了四位同學的腦筋。但有一次，他們在上課中得知奈米材料有顆粒微細和自潔效果等特性，讓他們聯想到白華的生成，從此得到靈感，覺得使用奈米材料來處理紅磚，或處理砌磚用的泥漿，可能是一個解決問題的方法。為此，他們和老師討論，修正實驗細節，將奈米材料運用的位置分成混在泥漿中、塗在磚表面、噴在磚表面等，一共6組共18疊磚塊，置於戶外，做二星期的觀察記錄，可說是十分精細的實驗設計。

彰師附工的專題研究課是很自由的，學生們自己提出想要做的研究，老師的角色便是協助學生凝聚思考，不要變成做不出來的發散性題目。「指導老師王秀芳老師，會協助我們，指引方向，以免我們走錯。」此外，另一位指導老師張盛進主任則是土木方面的專家，關於觀察分析的方式、解決紀錄的相關問題等，給這四個學生很多的幫助。

獨立研究進步多 意外提升Photoshop技能

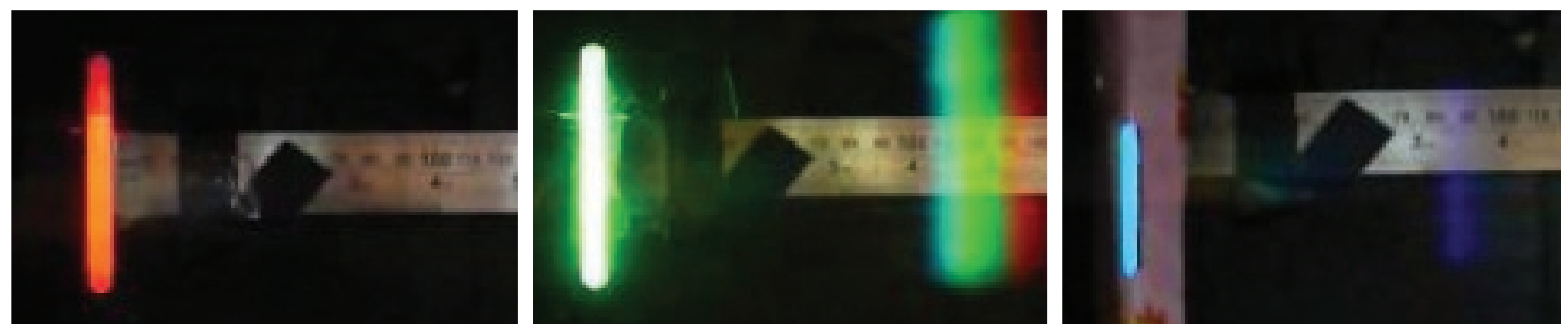
獨立研究的能力，在做專題的過程中慢慢被培養起來；四個同學找了很多資料、看很多書，「好像比平常讀書上課，吸取了更多知識！」吳佩珊表示。此外，由於他們觀察白華的方式十分特殊——將磚頭上白華每次的變化拍攝下來，用photoshop打開，以過濾色彩的方式，將有白華顏色的部分取出，再分析它占全體的比例是如何，和上次相較是否有增加或減少等，做為白華數量的觀察。因此他們意外地增進了使用photoshop的技能，這是在設計實驗時始料未及的。

白華的觀察實驗是四個同學在2009年進行的，現在四個人都已上大學，林宛蓁在土木系，吳佩珊在建築系，王郁琪和蔡欣潔則在營建相關科系，每個人都走上相關的道路。談到當時參加實驗的收穫，他們覺得當時學到的實驗手法對他們現在大學的課程很有幫助，「當時看了不少照片，現在在做觀察的時候，會用到當時的手法，也很有看照片分析的能力。」唸了不少文獻，也讓他們對於材料十分了解，現在上大學更得心應手。除了這些之外，當然就是喜悅的心情了。「很棒的經驗，投入很多心力，比賽時很有成就感！」吳佩珊表示。

2-3

化學

科學小論文



利用自製螢光測定裝置 探討光敏靈發光

國立嘉義高級中學
陳亮甫

利用自製螢光測定裝置探討光敏靈發光

在物資與能源逐漸缺乏的年代，有效利用資源成為重要的課題。CD片目前到處隨手可得，其可作為透光式光柵，當光經CD的槽距可產生繞射現象，依據繞射的特性可用來測得光譜波長，在光譜分析上具有極高的應用價值。而光敏靈發光的系統是相當有趣、震撼的螢光實驗，其發光機制引起我們極大的研究興趣，想一探究竟。那麼，結合此兩動機是否能激盪出更強烈的火花呢？本研究中我們即以此出發，利用CD片與光感測器自製一個簡易的螢光測定裝置，探討化學發光的性質並深入研究各變因的影響，冀能藉由本實驗成果將化學發光的研究題材實際推行於未來高中的科學課程。

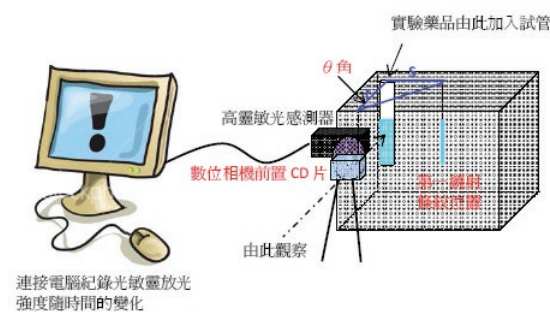
本實驗利用CD片、光感測器與數位相機自製一個簡易的螢光測定裝置，針對光敏靈系統及各種螢光棒進行發光探討，除了進行各反應物濃度變因的研究外，更深一層地測量螢光波長及強度變化、拍攝螢光繞射條紋，並探討添加染料(螢光黃、薔薇紅)對光敏靈發光現象的影響，最後我們透過各種離子溶液的呈色檢測發現赤血鹽離子 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ 在發光系統中會轉變成二價的黃血鹽離子 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ ，既作氧化劑也作催化劑，更是光敏靈發出螢光反應的關鍵物質。

A 研究原理

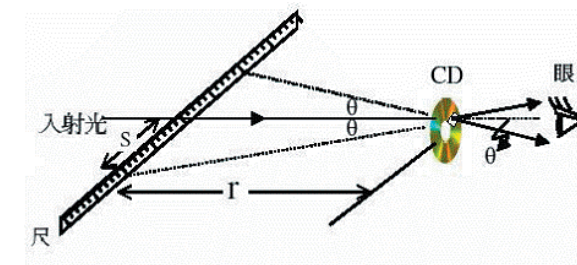
一、研究原理：

(一) 利用CD片單狹縫繞射特性自製螢光測定裝置測量螢光波長，並拍攝螢光繞射條紋。

1. 自製裝置：

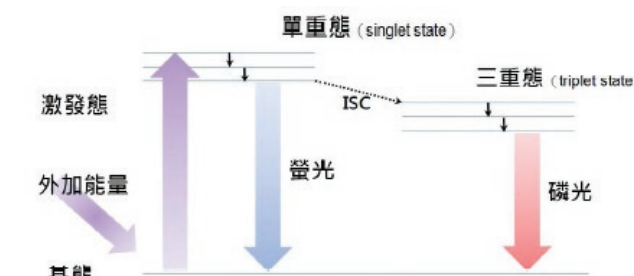


- (1) 將CD片、高靈敏光感測器、試管固定於暗箱上，再將高靈敏光感測器調整到測量試管發光位置。
- (2) 將高靈敏光感測器連接至筆記型電腦，利用DataStudio處理數據。
- (3) 由於光敏靈發光速率很快，為了能更容易、準確地量測到繞射條紋與試管的距離(S)，我們直接將CD片固定在數位相機的鏡頭（與試管距離 $r=31.0\text{cm}$ ）處，螢光經CD片繞射後的條紋便可直接由數位相機的螢幕觀察、拍攝並量測(S)，求出 $\tan \theta$ ，然後利用 $d \sin \theta = m \lambda$ （700Mb，80分鐘的CD片 $d=1.50 \mu\text{m}$ ）進而求得波長 λ 。



2. 原理

- (1) 螢光經單狹縫後，照射到距離 r 處的CD，經CD的槽距產生繞射，眼睛貼著CD，因槽距 d 甚小， θ 很大，眼睛只看到 $m=0$ 的經狹縫直接照射眼睛的光，以及 $m=1$ 的繞射亮紋。
- (2) 由光的可逆性，眼睛看到各色光在尺上距縫 s 處，量 s 、及 r ，由 $\tan \theta = r/s$ 可求得 $\sin \theta$ ，再利用繞射原理 $d \sin \theta = m \lambda$ 可量出螢光波長 λ 。



(二) 螢光發光原理

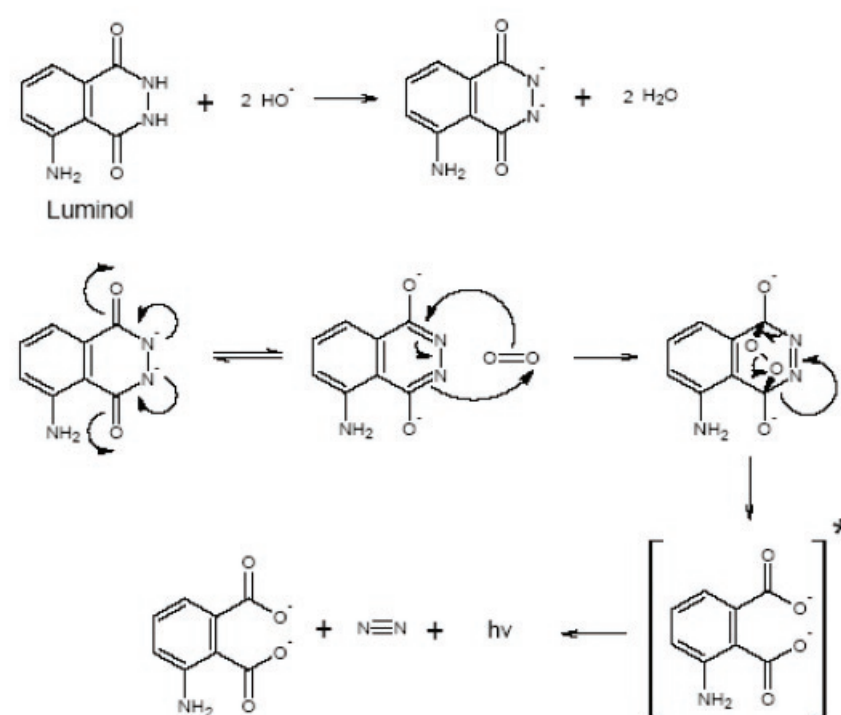
螢光發光原理為分子內單重態激發態的電子躍遷回基態時，能量變化所造成。當物質吸收外加能量，其電子躍遷至較高的能階，通常呈現不穩定狀態。不穩定的激發態電子會自發地躍遷回基態，此時一部分的能量以可見光的形式放出，即稱為「螢光」。單重態的電子不易進入三重態的激發態，不過一旦進入，其存在半衰期較長。電子若由三重態激發態的電子躍遷回基態，其放出的光稱為「磷光」，通常分子內摻入具高原子量的原子較易有此現象。此兩種發光方式不同於火把或燈泡（鎢絲燈）此類因高溫而發光的「熱光」，所以又被稱為「冷光」。

(三) 光敏靈發光機制

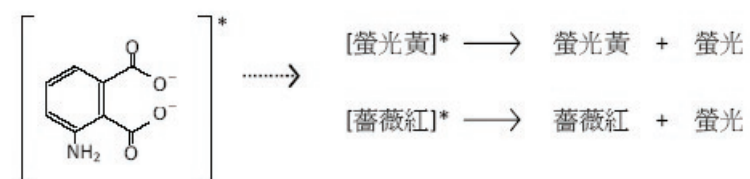
化學發光反應就是一個化學反應所生的能先被轉變成激發態的能量，激發分子呈「激發態」，當激發回到基態，將多元的能量以光的形式放出。最具代表性的化學發光反應就屬於發展最早的發光胺（Luminol，又稱光敏靈）系統。光敏靈在NaOH水溶液中受 H_2O_2 與赤血鹽的作用而發出天青色螢光。

過去對光敏靈的研究主要有三個部分：反應機制的探討、如何延長發光時間、以及如何增強發光強度，其反應機制一般認為如下：

1. 光敏靈要發光必先生成雙陰離子，移去結構中之H；太高濃度之NaOH造成和H₂O₂生成NaHO₂之針狀結晶，抑制H₂O₂生成O₂之量；而太低則雙陰離子生成率少，光量子少效果不佳。過氧化氫提供之O₂使光敏靈生成[Luminol]²⁻-O₂之複合體，再轉成激態之陰離子而放出螢光。
2. 當系統中存在染料時，激發態的光敏靈分子會快速地經由內部轉換將能量傳遞至染料，令其生成激發態物質而發出螢光。



【本研究進行探討】



(四) 螢光化合物的螢光特性受下列幾個因素的影響

1. 平面性：平面性愈佳的分子表示其結構較堅硬，激發能量不易因結構的振動而損失，因此螢光性愈強，故常有螯合劑與一些金屬離子形成錯合物，固定分子的結構而增強螢光性。

2. 溫度效應：一般而言升高溫度將導致螢光分子間的碰撞機會增加，提高外部轉換 (external conversion) 的機率，降低螢光的強度。
3. 取代基效應：通常具推電子效應的取代基(-NR₂, -NH₂, -OH, -OCH₃, -CH₃)，及可使π電子發生非定域化的取代基會增強其螢光性；反之具拉電子效應的取代基(-NO₂, -CN, -Cl, -COOH, -N+H₃, -N+R₃) 則會降低螢光性，甚至完全抑制。
4. 重原子效應：於鹵素取代物中，分子的螢光性會隨原子序的增加而減弱，此係因原子序愈高的原子其電子自旋與d軌道運轉的作用甚強，自旋方向容易反轉而產生系間跨越(intersystem crossing)，形成三重激發態，造成發射磷光的機率增加，同時減弱螢光強度，此現象稱為重原子效應(heavy atom effect)。
5. 含有順磁性(paramagnetic)金屬離子如Cu(II)、Ni(II)之化合物因會促進系間跨越，而有較強的磷光性；反之若具逆磁性的金屬離子如Mg、Zn之化合物則會增強其螢光性而抑制磷光性。此外具有未填滿外層d軌域的過渡金屬亦會抑制螢光的產生。
6. 氧氣的影響：溶液中之溶氧會造成螢光的降低，因O₂分子為順磁性，如第五點所述，其會增加系間跨越的機率，而降低螢光之效率；此外，氧氣的存在亦會增加螢光分子在激發態之光氧化破壞。
7. 濃度淬熄效應：當溶液中螢光分子濃度升高時，分子間碰撞之機率增加(selfquenching)，再加上自吸收(self-absorption)效應增強，使螢光之效率降低。

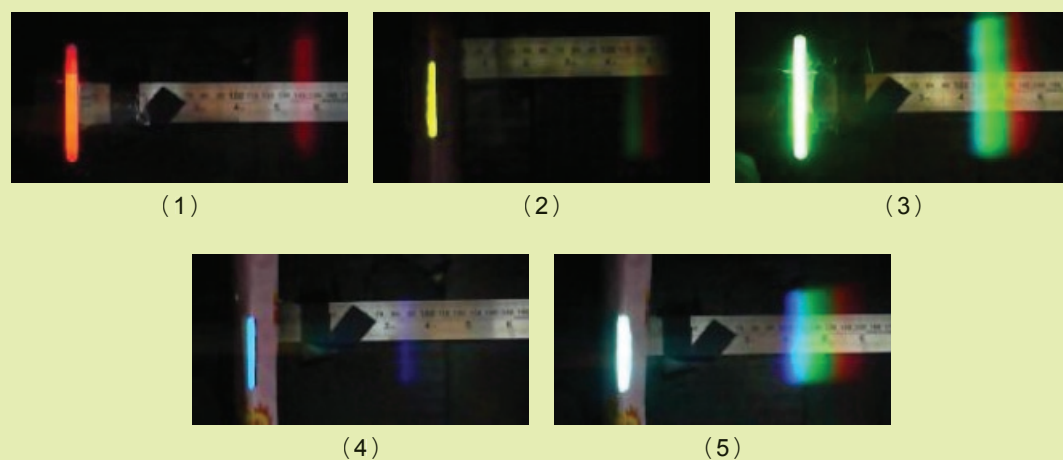
二、利用CD片自製的螢光測定裝置測量螢光波長及強度變化，並拍攝螢光繞射條紋，結果：

市售螢光棒及光敏靈發光顏色		(1) 紅色	(2) 黃色	(3) 綠色	(4) 藍色	(5) 光敏靈
平均S(cm)		14.30	12.00 13.80	10.60 11.70 13.70	9.00	10.00 11.50 13.40
λ(nm)	實驗值	627	540 608	484 528 605	417	459 520 594
	文獻值	622~750	577~597	492~577	455~492	430

【討論】

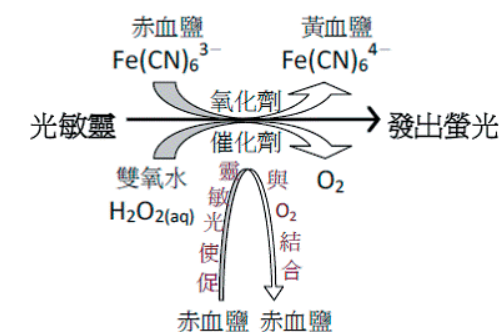
1. 本實驗自製的CD片螢光測定裝置操作方便、費用便宜，對於發光速率極快的光敏靈系統都可以很清楚地看到螢光條紋，並計算出光譜波長 λ 。相信將來在高中化學發光的實驗課程中可實際推廣及應用。
2. 透過CD片繞射分光的特性與數位相機的拍攝，我們可清楚的解析市售的黃色、綠色螢光棒及光敏靈系統發出的螢光條紋，且發現原來螢光物質的呈色並非單一色光，很多是由多元色系混合而成。實驗上我們透過此簡易的分光技術成功地釐清了肉眼辨色可能造成的盲點（另外，經He-Ne Laser 的波長測量，可得實驗誤差僅0.4%左右），相信此項開發出來的研究方法未來在光譜分析上將具有極高的應用價值。
3. 以紅色螢光棒為例，其波長測定推導過程如下：
由 $\tan \theta = r/s = 31.0/14.3 = 0.461$ 可求得 $\sin \theta = 0.419$
再利用繞射公式 $d \sin \theta = m \lambda$ （根據文獻資料80 min 的CD 片槽距 $d = 1.50 \mu\text{m}$ ）可求出紅色螢光棒的發光波長
 $1.50 \times 10^{-6} \times 0.419 = 1 \times \lambda \therefore \lambda = 627 \text{ nm}$
與文獻參考值 622~750 nm 吻合。
4. 光敏靈系統螢光呈現天青藍色，利用CD 片繞射量測結果可發現其乃由紅色、綠色與藍色三種色系波長混合而成，測得波長分別為459、520、593 nm，此結果除了與文獻資料（ $\lambda = 430 \text{ nm}$ ）相近外，放光系統實際上還存在另二條不同色系的條紋，這在以往的文獻資料中並未提及，此意外發現顯示我們確實可透過此簡易測量方法，快速且準確地取得螢光發光的波長並加以解析，對於高中化學課程的教學確實是一大福音。

數位相機記錄繞射條紋



B 結論

- 一、自製的CD片螢光測定裝置操作上方便、費用便宜，對於發光速率極快的光敏靈系統都可以透過其單狹縫繞射的特性清楚地拍攝到螢光條紋，並據以測出螢光波長 λ 。本研究即以此解析由多元色系混合成的螢光棒及光敏靈系統的螢光條紋。
- 二、光敏靈、NaOH、赤血鹽與雙氧水的濃度增加，受激發的分子也會增多，發光強度有增強趨勢，當光敏靈用量為0.015 g、pH=14、[赤血鹽]=0.125 M、[H₂O₂]為7 %時可產生很高的螢光強度。但若各物濃度過高，如NaOH(2 M)、赤血鹽(1.25 M)或雙氧水(14 %)時，系統中分子碰撞頻率加劇，將導致系統間穿越增多且發光強度明顯下降。改變各物濃度對光敏靈發光強度造成的影響程度關係為：[NaOH] > [赤血鹽] > [光敏靈] > [H₂O₂]。
- 三、添有染料的光敏靈系統發光機制是光敏靈先被激發成激態分子，然後再將部分能量傳遞給染料，使染料受激發而發光。我們透過CD片清楚地觀測到添加染料所呈現的螢光色澤及波長變化的情況（分別呈現黃色、紅色的螢光，而非天青藍色）。若系統中無添加光敏靈則根本無螢光發出。
- 四、添加染料的含量愈多會使發光時間縮短、螢光強度逐漸降低。添加薔薇紅，其螢光強度明顯減弱，會低於未添加染料的光敏靈系統。但是，添加螢光黃的螢光強度變化卻隨添加量多寡而有差異，當螢光黃含量低於0.03 g時，螢光強度反而增強，高於原光敏靈系統的發光強度。我們推論此結果應與染料結構中具有官能基或自滅現象有關。
- 五、光敏靈發光後的溶液經Fe³⁺、Fe²⁺、Fe(CN)₆³⁻、Fe(CN)₆⁴⁻、SCN⁻等離子溶液的檢測證實Fe(CN)₆³⁻確實參與系統中的氧化還原，且反應完後會轉變成黃血鹽離子Fe(CN)₆⁴⁻，但黃血鹽離子幾乎不具光敏靈放光的催化效果，故無Fe(CN)₆³⁻的存在時便無法繼續催化光敏靈發光。
- 六、赤血鹽為光敏靈能否發出螢光反應的關鍵物質，既是氧化劑亦為催化劑。光敏靈系統的發光機制乃由赤血鹽啟動，H₂O₂擔任O₂的提供者，其相關作用機制如下：



後記

小小道具立大功 光碟片可以測螢光波長

嘉義高中陳亮甫同學利用在課堂上實驗過的光碟片繞射原理，加上相機和試管，拍攝螢光的繞射條紋，還研究了光敏靈發光原理的各項變因，簡直自製了一套完整的高中螢光教材！

嘉義高中踏實學風 穩紮穩打求進步

現就讀台大醫學系的陳亮甫，在嘉義高中就讀時，受教於物理老師李文堂老師，及化學老師鄭榮泉老師；這兩位老師都強調紮實的學習和基礎概念的培養，這次高瞻計畫陳亮甫的「利用自製螢光測定裝置探討光敏靈發光」小論文，既探討光的繞射，又探討化學發光，橫跨物理和化學兩大領域，可見陳亮甫不只具備基礎知識，而且還有良好的整合能力。

李文堂老師的研究專長是光，也研發了上課時可以讓學生測試光波長的簡易裝置；而陳亮甫不愧是弟子，和李老師有相同的研究動機，鑑於測試螢光波長的儀器太過昂貴，竟也自行研發了簡單拍下螢光繞射條紋的裝置，可以想見這又是一個即將流行於高中課堂上的新實驗。陳亮甫對這個實驗有信心，「如果做得仔細一點的話，結果不會差儀器太多！」

化學老師鄭榮泉老師對陳亮甫也影響至深，他陪伴學生做實驗，告訴學生做實驗的方法，之後就讓學生自己努力，也許要花上大半年，但所有的步驟怎麼做的，數據怎麼來的，所有細節的東西，學生都能摸得清清楚楚。「老師的腦子動太快了，我們跟不上！」陳亮甫笑著說，但就是這樣的老師，總是能夠為學生想到好方法，解決學生的難題。

實驗室經驗傳承 為大學課程打下基礎

陳亮甫的研究，並非完全是一個人單打獨鬥，學長已有發展類似的題目，而陳亮甫以之前的成果為基礎，發展變因和分析層面，多找資料、再次實驗確認精準度，嘗試觀看研究的整體架構，做些調整。

憶起在嘉中高瞻課程中的學習，陳亮甫認為「做實驗」是他感到最印象深刻的部分。「因為有高瞻課程，比其他同學早做一些有趣的實驗，這是大部分高中生很難接觸到的。」陳亮甫說。嘉中的高瞻班分成物理、化學、生物三班，以介紹最新科技為課程主軸，因此往往會在課堂上進行有趣的實驗，例如跑DNA、蛋白質、培養細菌等。這些對陳亮甫很有幫助，「上大學之後，比較知道別人在說些什麼！」

進了實驗室之後，陳亮甫才發現做實驗是需要技巧的。一摸到器材，發現自己的手會發抖，思考反應也慢半拍。還好老師和學長「盯」得勤，加上實驗做多了，動作也熟練了起來，「和其他同學相比，我的實驗動作是比較好的。」陳亮甫表示。上了大學之後，做實驗需要更紮實，從找資料開始，自己獨立進行專題研究；雖然陳亮甫還在摸索中，但高中在實驗室的經驗的確帶來很大的幫助，希望能依此為基礎，走出自己的一條路。

2-4
化學

科學小論文



葉綠素電池特性研究

臺北市立麗山高級中學
林鵬、黎上瑋、吳郁萱