

教育部教學實踐研究計畫成果報告
Project Report for MOE Teaching Practice Research Program

計畫編號/Project Number：PEE1123751

學門專案分類/Division：工程

計畫年度：☒112 年度一年期 ☐110 年度多年期

執行期間/Funding Period：2023.08.01 – 2024.07.31

計畫名稱: 運用 3D 影片打破時空與實驗室隔閡達到強化 3D 視覺經驗的學習:應用於半導體相關領域的製程與量測設備示範教學

配合課程: 光電奈米製程技術

計畫主持人(Principal Investigator)：黃智賢

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：

國立台灣海洋大學光電與材料科技學系

成果報告公開日期：

☐立即公開 ☒延後公開（統一於 2026 年 7 月 31 日公開）

繳交報告日期(Report Submission Date)：2023 年 9 月 20 日

計畫名稱: 運用 3D 影片打破時空與實驗室隔閡達到強化 3D 視覺經驗的學習:應用於半導體相關領域的製程與量測設備示範教學

一. 本文

1. 研究動機與目的

台灣積體電路的半導體製程技術在經歷了多年的努力,目前終於達到世界首屈一指的地位,其地位之重要性之高,更被譽為我國的護國神山。

分析其成功的原因,我國歷年來優秀的人才培育與持續地投入,功不可沒。然而,護國神山的未來並非穩如泰山,眼前便有眾多隱憂呼之欲出。先不論水、電等供應的不足是否可解決,光是少子化問題,便是一道必然難以跨越的鴻溝。如果教育的方式沒改變,當少子化使每年培育的總人才數縮減到近一半的數量,那意味每年能培育出相對優秀的人才也將減半。然而,優秀的人才數量減半後,根本難以支撐目前已經擴大了好幾倍的半導體製程產能!可以預期,未來,各大半導體廠徵才時,會遇到找不到合適的本科系(電子、電機、光電、材料、物理、化學等)人才而必須尋找跨領域人才重新訓練的窘境。

過去二十幾年來,本系研究所便有著豐富的帶領非本科系學生進入半導體領域的經驗。然而,近年來,受到少子化的影響,碩士班入學學生的素質,有明顯的下降。長此以往,優秀人才不足以支撐擴大的半導體產業的窘境,已經呼之欲出。現階段想辦法提升學生學習成效與素質,乃當務之急。

我們認為,解決的方法在教育方式的改變,此改變將使更多跨領域的人才或素質一般的同學,能利用學習科技,快速地學習並進入狀況,成為優秀的有訓練的專業人才。一般在半導體製程領域傳統的教學方式,都是教師以靜態平面圖文投影片(power point),對著學生解說,這需要十分好的教學技巧,才能讓學生從平面的圖像甚至簡圖,在腦海構思出製程的可能樣貌。

進入實驗室參觀學習應該是非常好的方式,然則,如果是 50 個人的班級,如何能讓每個人都仔細地學習,大多數人可能都是走馬看花而已。加上,新冠肺炎病毒肆虐,很多實驗室都為避免閒雜人等出沒,難以接受參訪。現階段,進入研究所研習,應該是最佳的學習方式,只是名額有限,難以普及。

為此,我們構思若能使用 3D 攝影機,錄製立體的影像,不僅可以讓每位同學都如身歷其境地仔細學習,也可以讓原本在紙面的設備簡圖與照片,立即以實機實體展現在面前,看過後不僅能對製程設備有約略的尺寸概念,攝影機甚至還可以深入腔體中,展示細微的設計。若有了 3D 模擬功能的支援(如微軟免費遊戲引擎 Unity),甚至可以做到動態地模擬演譯製程中原子、分子相互作用的表現,甚或達到互動式的設計——那便是所謂元宇宙的設計方式了(暫非本計畫現行目標)。更甚者,影片是沒有空間與時間限制性的,未來可以持續地累積、更新資料,讓教育的功能無遠弗屆地展開,甚至讓高中生都能運用、學習。當部分高中生都能學到製程技術的概念,那也表示教育的成功紮根,

未來達到值的提升，指日可待了。

本計畫中，我們是以錄製 3D 影片介紹半導體製程實際製程設備當起點，因此只需 3D 立體眼鏡(使用手機)或 3D 投影機(使用自動 3D 眼鏡)便可觀看。等我們把 3D 錄影編輯技術練成熟，未來該技術也可以擴展到各種技術的學習。此外，我們會尋找或設計適當的互動平台，讓瀏覽者不能腦袋空空，他必須完成部分設定任務或題目，才算通過學習。

2. 文獻探討

(1) 經驗中學習

現代教育大師約翰杜威提出 learn by doing(經驗中學習，或做中學)¹，強調教育過程中，經驗的重要性。這在專業領域尤其有關儀器設備學習方面，經驗更是重要。畢竟，當我們學習一樣儀器的基本原理，只看到簡圖或平面照片，卻完全不知道他的確實長相與尺寸，在學習時，總會有些不確定感。舉例而言，許多人看過濺鍍設備的原理圖，但對基板和靶材的大約距離沒有概念。可是學生只要看過實體機器，即便未經特別提醒提問，也可以用手比出其大約距離。因此，一個實體機器夾帶的圖像訊息其實是十分豐富的，而且印象鮮明。

近年來，由於 Youtube 與影音平台興盛，更造就了多網紅。其中有不少影片是著眼於輔助教學，許多影片甚至介紹許多自己或他人做實驗的場景，包括實務儀器與設備，這些影片都對學習產生不錯的正面效果。文獻上，也看到不少擴增實境(AR)與虛擬實境(VR)，應用於教學的例子，此方面可參考一些不錯的 review 文章^{2,3,4,5}。

有別於 AR 與 VR，其設計多半是虛擬、擬真的，以動畫製作，3D 影片則是實際景物的拍攝。2014 年 Bride 等人在實驗室的研究認為，3D 與 2D 電影對誘發情感具有相近的效果⁶。稍早，2013 年，Rooney 等人實際對剛出電影院的 225 人做問卷⁷分析顯示，3D 條件下的觀眾認為他們體驗感覺更為逼真，並且觀看電影時比 2D 條件下的觀眾更專心有沉浸感。然而，同樣地，他們也認為 3D 與 2D 在情緒感受喚醒或對整個體驗的滿意度方面沒有觀察到顯著的群體差異。2020 年法國的 Bernand 等人⁸，對近 200 名學習解剖的學生，分別施以 3D 與 2D 影片教學。研究顯示，使用 3D 影片學習的學生，其學習後的測驗成績，普遍勝過以 2D 格式影片學習的學生，不同學習範圍成績大約多出 10%~20%。77%採用 3D 影片學習的學生認為 3D 影片使他們能夠對立體的解剖結構看得更清楚。此外，85%的學生認為未來應該要繼續在課堂中運用 3D 影片教學。

在文獻上，3D 影片主要被用在醫學課程，尤其解剖相關課程。然則，除此之外，在其他領域的應用，卻沒有非常多較新的報告。過去拍攝 3D 影片一度很熱門，但後來，熱度退卻，連許多攝影器材與螢幕都停產(不過投影機卻進步很多)。我們認為，可能的原因是，是影片的觀看太過麻煩，不僅需要特殊的螢幕或投影機，也需要特殊的眼鏡，更要懂得如何切換到 3D。此外，過去影片解析度多半不高，導致沉浸感不佳，甚而，因為攝影機晃動與眼鏡(及螢幕)閃爍，看久了，眼睛不舒服。然則，既然 3D 影片可以讓學生感覺更專

心、更真實，更有立體感，且現在的攝影機與投影機許多解析度更提高到 4K 畫面，也有配用更專業穩定部晃動的運鏡雲台。更何況，學習實務的設備與儀器，如果有 3D 畫面，更能體會出儀器設備立體的結構(例如光路、布局、機構等)。因此，此時應該我們是重新檢視 3D 影片在教學的應用的好時機。

(2) 以 3D 影片模擬經歷強化學習

本計畫中，試圖以 3D 影片，模擬實際的經歷，達到經驗中學習的效果。當然，3D 影片僅有視覺與聽覺，其與實際的五種感官"經驗"，還包括觸感、嗅覺、味覺，仍有差距---但是這已經有很大的進步了，我們相信此種虛擬經歷，應仍可對學習有所幫助。這也是我們計劃想驗證的一個想法。

(3) 3D 影片的基本原理

3D 影片，是利用視差"欺騙"大腦，只要讓左右眼分別看有視差的影片，便可以讓人感受到立體感，這是 1883 年英國科學家惠斯頓所發現的，他也發明立體顯微鏡；其後 1849 年，蘇格蘭物理學家 Brewster 製作出現代 3D 眼鏡的雛形，由於其方便性，更引發 3D 攝影的風潮⁹。以下我們便來了解一下現代化的 3D 立體顯示技術¹⁰。

(4) 現代 3D 立體顯示技術---運用偏光片視差成像原理¹⁰

現代的 3D 立體顯示技術有非常多種，運用偏光片造成立體視差是目前最常見的技術之一。所謂視差，是指立體景物成像在兩眼(或立體攝影機的兩鏡頭)時，變成略有差異的兩張平面影像。若我們將這兩個平面影像，分別提供給兩隻眼睛，則人眼會自動地在腦海建構出原來看到的立體影像。利用全罩式頭盔將視差影像提供給雙眼，是最理想也最沒有左右畫面干擾的設計之一，但是，它的使用上並不是很方便。運用液晶螢幕或投影機，但設計偏光片使兩眼分別接受到左右的視差影像，以呈現立體效果，相對是較為便利的選擇。以下我們便略述一下一些不同 3D 顯示設計方式

a. 主動式 3D 液晶螢幕

此設計，主要是利用液晶螢幕快速切換撥放左右的畫面，但該設計需要特殊設計的液晶鏡片眼鏡，它能接收來自螢幕的同步訊號使左右眼應看的畫面分別進入左右眼中，產生立體感。其缺點是眼鏡太貴且會遮掉不少光線，且若切換的頻率太慢，有些人會感覺到閃爍，看久容易造成眼睛不適。

b. 被動式 3D 液晶螢幕

此種設計中，液晶螢幕一半畫素播放右眼畫面，一半播放左眼畫面；然而，此兩種畫面發出的光線經過極化片具有不同的極化方向，使其經過眼鏡上的偏光片(具有不同偏光方向)後，眼睛可分別看到不同的畫面，形成立體感。根據偏光片運用，還有兩種系統：

(i) 線偏極化系統：

此種系統中螢幕與眼鏡都使用垂直與水平的偏光片，配合液晶螢幕，使左右眼各看到所該看到的畫面，形成立體感；然而，此種系統若觀看者把頭傾斜某個角度，或斜躺著看螢幕，則兩眼都會看到重疊的左右畫面。因此，這是比

較簡單的設計。

(ii) 圓偏極化眼鏡：

為了改進線偏極化偏光片的無法偏轉觀賞角度問題，研究人員特別設計了使用圓偏極化光的方式來建構立體視覺。然而，目前主要的偏光片，都是偏光片發明人藍德(Edwin Herbert Land, 1909-1991)¹¹發明的線偏極化偏光片，要如何從線偏極化片建構出圓偏極化的光呢？其實，線偏極化的光，水平與垂直分量電場是同步的。如果一道偏極化的光以與+y 軸夾+45 度角電場方向(即 $\hat{j} + \hat{k}$ 方向)入射到 z 方向，根據波動方程式的解，則其入射光電場可用其分量寫成

$$\vec{E}(x, t) = E_0 \cos(kx - \omega t) \hat{j} + E_0 \cos(kx - \omega t) \hat{k} \quad \text{----式(1)}$$

圓偏極化的光，水平與垂直分量電場間則有 $\pi/2$ 的相位差。因此，如果我們可以將線偏極化的光，經過一個裝置，使其水平與垂直分量電場間產生一個 $\pi/2$ 相位差，便可以將線偏極化的光轉換成圓偏極化的光。雙折射的晶體薄片便具有建立相位差的功能。一般來說，此種功能的薄片，被稱為波片(waveplate)，現在已可用石英、碳酸鈣、 MgF_2 、氧化鋁等人工合成。因為是雙折射晶體，波片當然是有方向性的。它有快軸與慢軸兩個入射方向。常見的所謂「半波片」與「四分之一波片」(quarter waveplate)，是指光經過晶體的兩軸後，慢軸會因延遲而落後快軸半個波長(相當於落後相位角 π)與四分之一個波長(相當於落後相位角 $\pi/2$)。因此，若式(1)的線偏振波，經過一個 1/4 波片，假設 y 軸延遲了 1/4 的波長，等同 $\pi/2$ ，因此其方程式變成

$$\vec{E}(x, t) = E_0 \cos(kx - \omega t) \hat{j} + E_0 \cos(kx - \omega t + \pi/2) \hat{k} \quad \text{----式(2)}$$

上式根據 $\cos\left(x + \frac{\pi}{2}\right) = -\sin(x)$ ，即可化為

$$\vec{E}(x, t) = E_0 [\cos(kx - \omega t) \hat{j} - \sin(kx - \omega t) \hat{k}] \quad \text{----式 (3)}$$

這就是一道左旋的圓偏極化光了！

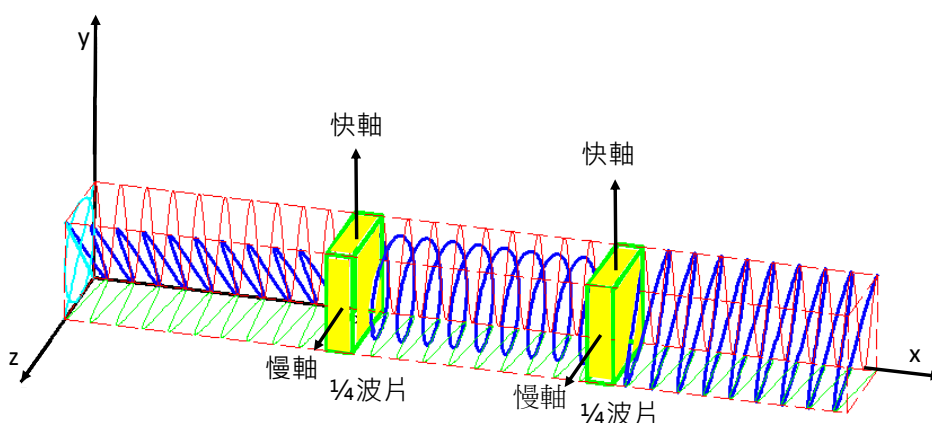


圖 1. 可用兩種情況觀察上圖(a)光由左而右入射：同相位(in phase)線偏極化的光用與快軸 45 度方位入射到 1/4 波片後，變成左旋圓偏極化光；若再入射到另一道 1/4 波片，則會變成反相位(out of phase)線偏極化光。(b)光由右向左入射：反相位線偏極化光用與快軸 45 度方位入射 1/4 波片後，變成右旋圓偏極化光；若再入射另一 1/4 波片，則會再變成同相位線偏極化光¹⁰。

圖 2 是一個典型的圓偏光被動 3D 液晶顯示器的分解原理圖。利用交替變化的 $1/4$ 波片，我們可以把水平畫素分成左與右畫面，以不同的圓偏極化方式發射出去。圓偏光 3D 顯示系統的眼鏡，則是由 $1/4$ 波片與線偏光片以固定的相對偏極化角度黏合而成的。由於螢幕與眼鏡間所傳遞的光線，是圓偏極化光。因此，只要眼鏡中波片與偏光片間極化角度固定，並能只讓特定的圓偏極化方向的光通過。也因此，觀眾的頭怎麼旋轉，就不會影響畫面的接收了。這真是一個非常有趣的設計。

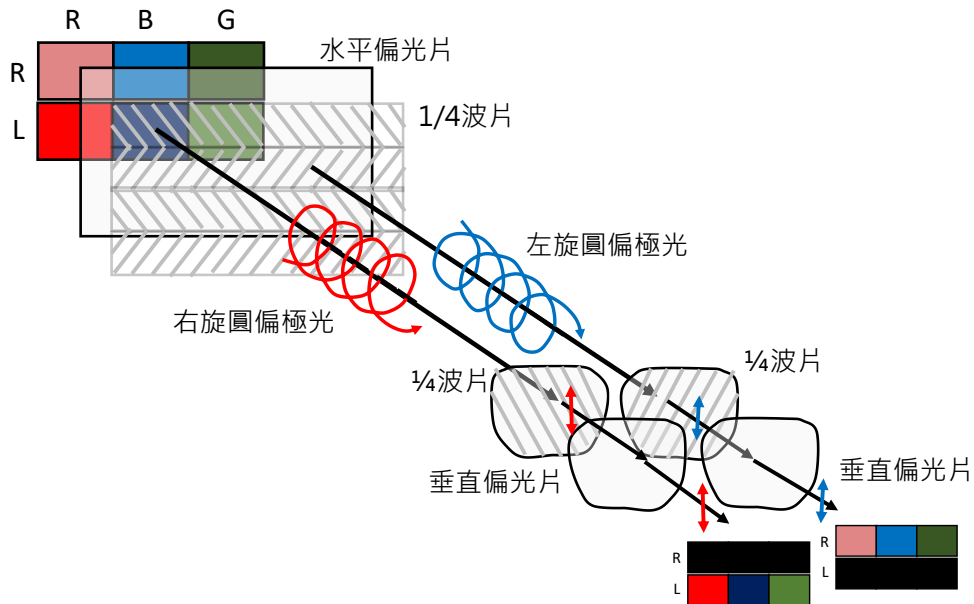


圖 2. 圓偏極光被動式 3D 液晶顯示系統的基本架構分解原理圖¹⁰。

c. 投影 3D

上面我們是以液晶面板為例，如果是投影機，也可以有主動與被動兩種。主動式的 3D 投影機，會將畫面切換地投影到投影幕上，必須使用主動式 3D 眼鏡來觀賞，此技術中的螢幕不需特殊材質。被動式的 3D 投影基本形式則是使用兩台投影機，將左右畫面分別以不同的極化光投射到螢幕上，觀看者須帶著左右眼不同極化方向的鏡片，以便讓左眼畫面進入左眼，右眼畫面進入右眼，達到 3D 顯示的目的。被動式的 3D 的投影，所使用的銀幕是特別設計的含金屬或特殊成分的銀幕，如此經過銀幕反射後，極化方向才能維持在原本的偏極化方向。

比較主動與被動式的優缺點：被動式的 3D 投影，投影設備較少見，需要特製螢幕，優點是眼鏡架構簡單，價格便宜，可以送給觀眾，因此常在許多公共展館被使用。主動式的 3D 投影機，目前許多投影機都已經有內建該 3D 功能，可以使用任意現有的投影幕，缺點是眼鏡價格較貴，



圖 3. Google 紙板製 3D 頭戴裝置

(<https://www.pcstore.com.tw/appledacshop/M31627161.htm>)

使用時必須充電，使用後必須回收。所幸，由於大量生產，現在主動 3d 眼鏡已經降到每個約 1000 元，已經是學校教學可以接受的程度。

(5) 計劃採用的 3D 技術: 全罩式 3D 視差眼鏡

本計劃中，課後學習 3d 影片，將採全罩式 3D 眼鏡(配合手機)，如圖 3 是早期 google 推廣的 3d 眼鏡版本，配合手機使用，成本也十分低廉，適合普及教育。本計畫則使用如圖 4 的新型 3d 眼鏡(仍需配合眼鏡)(VRG Pro 藍光護眼 3D 眼鏡)，此種設計在頭戴使用上，較紙板舒適，且效果良好。重點是，這眼鏡單價只有 280 元，比起 HTC Vive 上萬元的價格，著實容易推廣。



圖 4. 本計畫採購的全罩式輔助 3d 眼鏡(須配合手機操作)。

技術層面上，3D 影片儲存最簡單的架構是左右視差畫面架構，此影片格式可相容於現有技術，但解析度上會略有損失。交錯式架構是比較不會損失解析度的方式，但在影片的編輯上，會呈現交錯模糊的影像，略有不便。因此，我們應該會使用左右畫面架構來儲存處理影片，此種架構的影片邊輯，可適合現有編輯程式(如 Active Presenter, Power Director 等)，不須額外購買特殊影片處理程式。

攝影技術方面，目前我們已有一台 Weeview SID 3D 攝影機(圖 5)，配合其 3D 穩定雲台與高解析度(3K (2880x1440) / 30fps)，可以讓錄製影片時，運鏡更平滑，不至有晃動並使觀看者容易頭暈的效果。此台機型的缺點是沒有鏡頭，因此是固定焦點攝影。

3. 教學設計與規劃

我們的教學目標是希望同學能熟悉光電相關的奈米製程技術。希望使用 3d 影像讓學生在學習實務製程或量測設備有親歷其境的感受，配合瀏覽時過關的設計，以此增加實務經驗而促進學習。

我們將使用 PPT 教學，課間配合 IRS 互動回應系統了解同學學習狀況，並且利用拍攝 3d 影片當作課堂後的作業。我們我們是利用 tronclass+youtube 發布 3D 影片請同學以 3D 眼鏡配合手機瀏覽學習該影片，流覽後並使用 tronclass 檢測同學在影片觀察後的學習狀況。



圖 5. Weeview SID 3D 攝影機(圖參考:

<https://www.cool3c.com/article/127645>)

4. 研究設計與執行方法

本課程結束後，我們會使用問卷調查，配合學生訪談，配合 IRS 的成績，

了解其學習的狀態。

5. 教學暨研究成果

(1)教學過程與成果

本計畫中，我們拍攝的影片涵蓋了蒸鍍機、濺鍍機、吸收光譜儀、XRD、SEM、拉曼光譜儀、CVD 製程等技術，且跨越了四間實驗室。

我們使用 Active presenter 編輯影片，發布 side by side 格式 3d 影片在 youtube 上，並將連結貼到 tronclass，以便配合作業測驗學生研習後的程度。

基本上所有同學都覺得 3d 影片極為新鮮，且其內容是實際在實驗室拍攝的影片，可讓同學有身歷其境之感，令同學不禁開了眼界。

圖 6、圖 7 與圖 8 分別是 X 光機、吸收光譜儀、與蒸鍍機的 3d 影片 side byside 格式教學畫面展示。圖中可以看出，由於攝影機很小，教學攝影時可以讓攝影機進入平時到達不到的區域觀察拍攝，大大打破空間的隔閡，讓學生不僅不用擠破頭看示範教學，還可細細品味觀察細節的設計與功能。

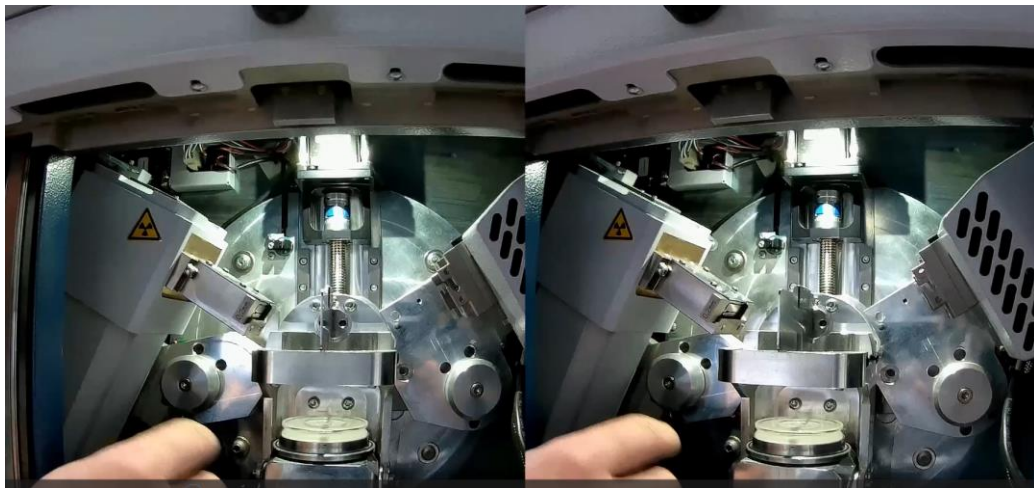


圖 6. X 光繞射機台教學簡介 3d 影片 side by side 格式畫面展示。

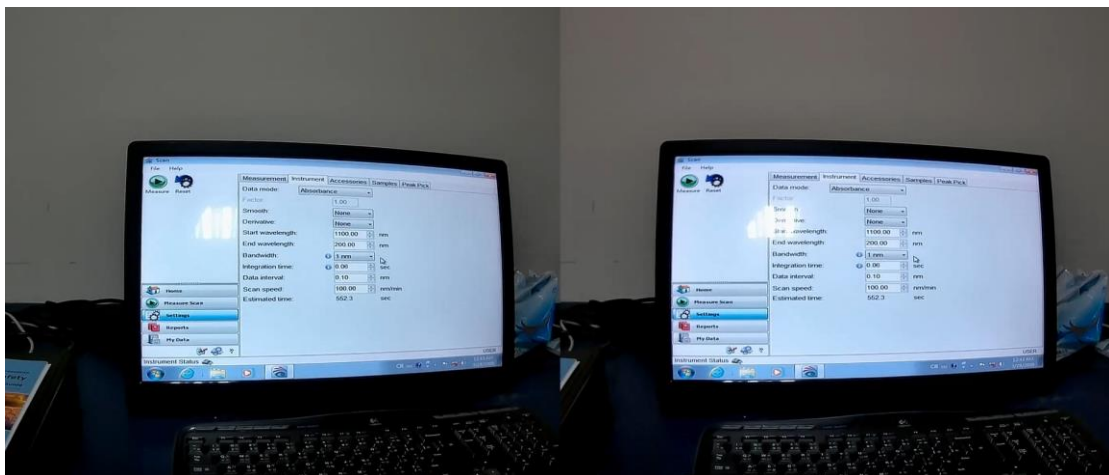


圖 7. UV-Vis 吸收光譜儀機台教學簡介 3d 影片 side by side 格式畫面展示。

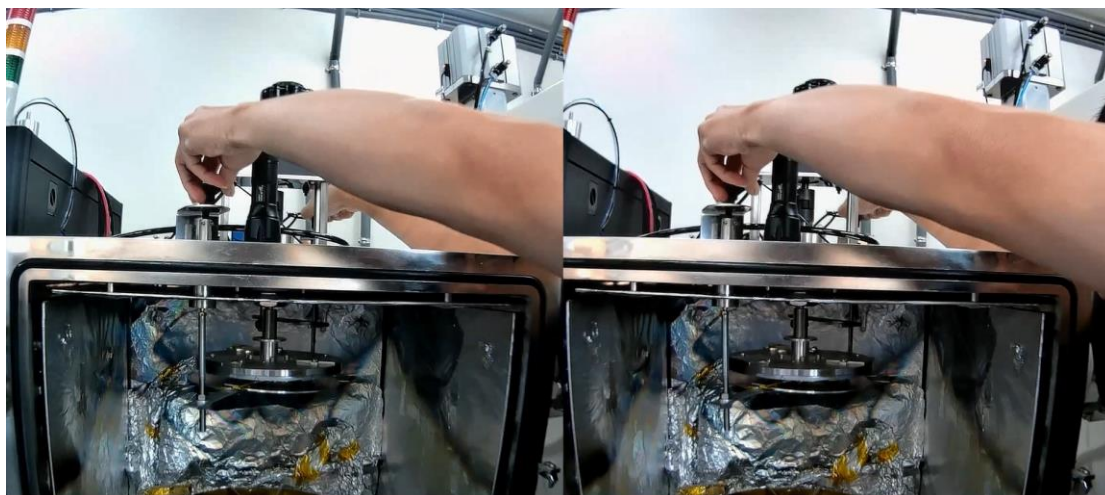


圖 8. 蒸鍍機教學簡介 3d 影片 side by side 格式畫面展示。

(2)教師教學反思

本人反思此計畫執行上，仍有幾個值得討論的問題與心得：

a. 3d 影片使用手機加便宜 3d 眼鏡觀賞，雖然功能遠比 HTC 的上萬元的 3d 眼鏡陽春，但卻是可以普及的方向。

b. 該種眼鏡沒有搭配專門設計合適的操控方式，因此更環影片時常需拿線眼鏡用手按，是比較不方便的地方。

c. 雖然如此，同學們第一次看到 3d 影片內容，都覺得十分新鮮，增加學習欲望。

(3)學生學習回饋

表一是本計畫執行後，在課後的問卷調查整理結果。問卷調查結果顯示，在一個以大四與碩一生為主的 22 人「光電奈米製程技術」課堂中，77%的學生同意使用 3D 影片輔助教學對其學習確有幫助。同樣地，有 77%的人認同 3D 影片比 2D 影片更有助學習。此外高達 95%的學生認為 3D 影片帶給其新鮮的感受；91%的人認為 3D 影片有身歷其境的感覺。但在使用經驗上，41%的人認為頭戴式眼鏡有不舒適的感覺，59%則未感覺到。

從數據來看，我們認為 3D 影片教學的確對學習有正面的效果，這讓我們更樂觀看待該技術未來在教學的應用。

問卷調查

計畫名稱：運用 3D 影片打破時空與實驗室隔閡達到強化 3D 視覺經驗的學習:應用於半導體相關領域的製程與量測設備示範教學

基本資料 性別(單選)：男生 18 人、女生 4 人 年級(單選)：大三 1 人、大四 9 人、碩一 12 人 大學就讀學系(單選)：光電與材料系 13 人、光電系 6 人、化學系 1 人、 化工與材料系 1 人、電子系 1 人	
題目\意見	非 同 沒 不 非 常 意 意 同 常 同 見 意 不 意 意 同 意
1. 平均而言，你覺得本門課的上課內容對你未來研究會有所助益。	10 12 0 0 0
2. 感覺上，你滿意自己本學期本課程的學習狀況。	11 10 0 0 0
3. 使用 3D 影片輔助教學對你了解相關的教學內容是有幫助的。	8 9 5 0 0
4. 感覺使用 3D 影片輔助教學比起直接看 2D 圖片有幫助讓你更便於了解學習內容	8 9 5 0 0
5. 你感覺使用 3D 影片輔助教學比起直接看 2D 影片更便於了解學習內容。	9 8 5 0 0
6. 使用 3D 立體眼鏡讓你感覺某種程度的不舒服。	2 7 6 4 3
7. 你對使用 3D 立體眼鏡感覺有某種程度的新鮮感。	7 14 1 0 0
8. 使用 3D 立體眼鏡讓你感覺有身歷其境的感受。	7 13 2 0 0
9.你覺得本學期課程內容，有何建議改善之處?(紙面不足可以寫後面) ---很棒 x2 ---內容豐富 ---進度可以再加速一點	
10.你覺得本學期使用 3D 影片輔助教學，有何建議改進之處? --3D 眼鏡可以用藍芽更好 ---很有趣 ---很棒 x2 ---很不錯 ---很新鮮的上課方式，但用 2D 會更方便觀看 ---頭戴裝置很容易掉	

表 1. 問卷調查整理結果。

6. 建議與省思

經過一年的影片拍攝與教學使用，從同學興奮與有趣的感受中，我們重拾對 3d 影片輔助教學的信心。未來我們將不斷地擴大所拍攝的內容與實驗設備，真正達到"打破空間與時間的隔閡"的效果。

我們相信，這將是一個獨特且值得推動的任務，值得我們持續地執行。

二. 參考文獻

¹ 吳木崑,"杜威經驗哲學對教學與教學之啟示",台北教育大學學報 40,35-54

- (2009).
- ² Matt Dunleavy and Chris Dede, Augmented reality teaching and learning, Handbook of research on educational communications and technology, 735 (2014).
 - ³ Peter Sommerauer and Oliver Müller, presented at the ECIS, (2018).
https://www.competenceanalytics.eu/images/IO1_paper_AUGMENTED_REALITY_FOR_TEACHING_AND_LEARNING_A_LITERATURE_REVIEW_ON_THEORETICAL_AND_EMPIRICAL_FOUNDATIONS.pdf
 - ⁴ Sam Kavanagh, Andrew Luxton-Reilly, Burkhard Wuensche, and Beryl Plimmer, A systematic review of virtual reality in education, Themes in Science and Technology Education 10 (2), 85 (2017).
 - ⁵ Jaziar Radianti, Tim A Majchrzak, Jennifer Fromm, and Isabell Wohlgenannt, A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda, Computers & Education 147, 103778 (2020).
 - ⁶ Daniel L Bride, Sheila E Crowell, Brian R Baucom, Erin A Kaufman, Caitlin G O'Connor, Chloe R Skidmore, and Mona Yaptangco, Testing the effectiveness of 3D film for laboratory-based studies of emotion, PloS one 9 (8), e105554 (2014).
 - ⁷ Brendan Rooney and Eilis Hennessy, Actually in the cinema: a field study comparing real 3D and 2D movie patrons' attention, emotion, and film satisfaction, Media Psychology 16 (4), 441 (2013).
 - ⁸ Florian Bernard, Paul Richard, Alexis Kahn, and Henri-Dominique Fournier, Does 3D stereoscopy support anatomical education?, Surgical and Radiologic Anatomy 42 (7), 843 (2020).
 - ⁹ "History of Stereo Photography". The Turing Institute. July 31, 1996. Archived from the original on January 31 (2003).
https://web.archive.org/web/20030131081417/http://www.arts.rpi.edu/~ruiz/stereo_history/text/historystereog.html
 - ¹⁰ 參考自個人著作 "大學物理實驗---追根究柢二十個影響世界的物理實驗(下)"中「實驗十八、光的偏極化實驗—從馬克斯威爾方程式到 3D 顯示原理」有關 3D 顯示技術部分介紹。
 - ¹¹ E. H. Land, "Polarizing refracting bodies", US Patent US1918848 A (1929); 參見 <http://www.google.com/patents/US1918848>