

# 學生專業共同學習小組 成果報告書

填表日期： 111 年 06 月 20 日

|                                               |      |                                                                                                                                                                                                        |       |                                                                      |              |
|-----------------------------------------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------|--------------|
| 小組名稱                                          |      | 半導體微影技術之研究                                                                                                                                                                                             |       |                                                                      |              |
| 學習主題                                          |      | <input checked="" type="checkbox"/> 各式競賽 <input type="checkbox"/> 專業證照<br><input type="checkbox"/> 科技部計畫 <input type="checkbox"/> 教師檢定<br><input type="checkbox"/> 研究所考試 <input type="checkbox"/> 公職考試 |       |                                                                      |              |
| 指導老師                                          |      | 劉俊宏教授                                                                                                                                                                                                  |       |                                                                      |              |
| 成員總人數總計__11__人 (大學部成員人數__10__人，碩士班成員人數__1__人) |      |                                                                                                                                                                                                        |       |                                                                      |              |
| 組長姓名                                          |      | 李O瑾                                                                                                                                                                                                    |       | 組長連絡電話                                                               | 09XX-XXX-XXX |
| 組長電子信箱                                        |      | nancy.nancy224@gmail.com                                                                                                                                                                               |       |                                                                      |              |
|                                               | 成員姓名 | 學號                                                                                                                                                                                                     | 系所名稱  | 學級                                                                   | 備註           |
| 1                                             | 謝O意  | 10901604                                                                                                                                                                                               | 應用科學所 | <input type="checkbox"/> 大學部 <input checked="" type="checkbox"/> 研究所 |              |
| 2                                             | 王O平  | 10622180                                                                                                                                                                                               | 綠資學程  | <input checked="" type="checkbox"/> 大學部 <input type="checkbox"/> 研究所 |              |
| 3                                             | 徐O庸  | 10722117                                                                                                                                                                                               | 綠資學程  | <input checked="" type="checkbox"/> 大學部 <input type="checkbox"/> 研究所 |              |
| 4                                             | 李O瑾  | 10822123                                                                                                                                                                                               | 綠資學程  | <input checked="" type="checkbox"/> 大學部 <input type="checkbox"/> 研究所 |              |
| 5                                             | 李O笙  | 10822106                                                                                                                                                                                               | 綠資學程  | <input checked="" type="checkbox"/> 大學部 <input type="checkbox"/> 研究所 |              |
| 6                                             | 丁O安  | 10922119                                                                                                                                                                                               | 綠資學程  | <input checked="" type="checkbox"/> 大學部 <input type="checkbox"/> 研究所 |              |
| 7                                             | 陳O璇  | 10922125                                                                                                                                                                                               | 綠資學程  | <input checked="" type="checkbox"/> 大學部 <input type="checkbox"/> 研究所 |              |
| 8                                             | 張O翎  | 10922101                                                                                                                                                                                               | 綠資學程  | <input checked="" type="checkbox"/> 大學部 <input type="checkbox"/> 研究所 |              |
| 9                                             | 張O翔  | 10922117                                                                                                                                                                                               | 綠資學程  | <input checked="" type="checkbox"/> 大學部 <input type="checkbox"/> 研究所 |              |
| 10                                            | 董O聖  | 11022126                                                                                                                                                                                               | 綠資學程  | <input checked="" type="checkbox"/> 大學部 <input type="checkbox"/> 研究所 |              |
| 11                                            | 蔡O緯  | 11022123                                                                                                                                                                                               | 綠資學程  | <input checked="" type="checkbox"/> 大學部 <input type="checkbox"/> 研究所 |              |

## 學生專業共同學習小組成果報告

### 成立宗旨 【註：字數需超過 200 字】

( 請說明組成學習小組的起源，以及成立之宗旨、目的、特色，請詳述。 )

本共學小組成立的宗旨是為了讓綠資學程大一至大四的學生可以透過互相協助研究來增強自己對於半導體領域的理解。大三與大四的同學可以在過程中確認自己未來升學與就業的方向，並從旁協助大一或大二的學弟妹盡快理解該領域的基本知識並上手，這也可以加深大三或大四生自己對於所學知識的鞏固性，而提早畢業專題研究的大一與大二生，可以藉此盡早從中學習到一些經驗與解決問題的方法，使其將來在研究的道路上可以次快速上手，也更了解該研究方向是否是自己將來想走的領域，使其對於自己未來的目標方向更加確定。

本共學小組皆是綠資學程的學生，其中包含一位應科的碩班學長，因此在同是理工學院的背景下，接觸半導體方面的知識時，可以運用所學與經驗更快去理解、分析與解決問題，因此對於半導體方面執行數據分析，也可以順利進行，這也是綠資學程培養 $\pi$ 型人才的目的。

| 共學時間 |           | 共學地點        | 預定進度                                      | 實際進度                                      |
|------|-----------|-------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1    | 111/03/14 | Google Meet | CASINO 與 MATLAB 相關介面操作及不同光罩參數設定           | CASINO 與 MATLAB 相關介面操作及不同光罩參數設定           |
| 2    | 111/03/21 | Google Meet | 透過 CASINO 將進行不同光罩參數的 AED 輸出               | 透過 CASINO 將進行不同光罩參數的 AED 輸出               |
| 3    | 111/03/28 | Google Meet | 利用 MATLAB 進行 AED 的曲線擬合分析(低項次與低複雜度之數學基底函數) | 利用 MATLAB 進行 AED 的曲線擬合分析(低項次與低複雜度之數學基底函數) |
| 4    | 111/04/11 | Google Meet | 利用 MATLAB 進行 AED 的曲線擬合分析(低項次與低複雜度之數學基底函數) | 利用 MATLAB 進行 AED 的曲線擬合分析(低項次與低複雜度之數學基底函數) |
| 5    | 111/04/18 | Google Meet | 利用 MATLAB 進行 AED 的曲線擬合分析(高項次與高複雜度之數學基底函數) | 利用 MATLAB 進行 AED 的曲線擬合分析(高項次與高複雜度之數學基底函數) |

|    |           |             |                                           |                                           |
|----|-----------|-------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 6  | 111/04/25 | Google Meet | 利用 MATLAB 進行 AED 的曲線擬合分析(高項次與高複雜度之數學基底函數) | 利用 MATLAB 進行 AED 的曲線擬合分析(高項次與高複雜度之數學基底函數) |
| 7  | 111/05/02 | Google Meet | 進行分析結果討論・探討最佳化之參數化點擴散函數                   | 進行分析結果討論・探討最佳化之參數化點擴散函數                   |
| 8  | 111/05/09 | Google Meet | 將分析結果進行論文研究內容撰寫與討論                        | 將分析結果進行論文研究內容撰寫與討論                        |
| 9  | 111/05/16 | Google Meet | 將分析結果進行論文研究內容撰寫與討論                        | 將分析結果進行論文研究內容撰寫與討論                        |
| 10 | 111/05/23 | Google Meet | 將分析結果進行論文研究內容撰寫與討論                        | 將分析結果進行論文研究內容撰寫與討論                        |
| 11 | 111/06/06 | Google Meet | 根據論文會議後之結果進行討論與檢討                         | 根據論文會議後之結果進行討論與檢討                         |
| 12 | 111/06/13 | Google Meet | 探討後續研究之發展可能性討論                            | 探討後續研究之發展可能性討論                            |
| 13 | 111/06/20 | Google Meet | 根據後續研究之發展可能性進行相關進度規劃                      | 根據後續研究之發展可能性進行相關進度規劃                      |

**學習成果量化成效 (需佐證相關資料)**  
(請依照實際規劃填報，若無規劃之項目，請填入 N/A)

| 項目           | 達成值  | 項目              | 達成值 |
|--------------|------|-----------------|-----|
| 競賽參賽數/或獎數    | 100% | 公職考試報考人次        | N/A |
| 師院大會考平均分數    | N/A  | 研究所報考人次/錄取人次    | N/A |
| 專業證照報考人次/通過數 | N/A  | 大專生科技部計畫申請數/通過數 | N/A |

**執行成果 【註：字數需超過 1000 字】**

(請說明參與共學小組在規畫下的分享討論過程，對於成員之實際裨益，及能提供其他學生觀摩之處。)

這是本共學小組第二次報名參加，我們組內有一位碩士生、兩位大四生、兩位大三生、四位大二生以及兩位大一生，年級層可說是相當廣泛，但也因此在學長學姐扶持學弟學妹的情況下，可以相互成長的更加快速，如果有遇到任何問題就可以求救經驗較為豐富的學長姐，老師也會從旁指導我們，給我們一些建議，唯一比較可惜的地方是在於疫情因素，因

此所有的會議都是在 Google Meet 上進行，多少會有一些不便性，但最終仍是順利完成本次的研究。自上次的共學小組活動結束後，我們就開始討論接下來的研究方向，由於之前是研究光罩的材料與結構組成，希望藉由擁有最小鄰近效應影響的光罩結構來提高光罩本身的解析度，然而如果在後續修正光罩鄰近效應的過程中，使用到錯誤的 PPSF form 來描述光阻內的吸收能量分布，就會造成極大誤差，因此本次研究主要針對的是光罩鄰近效應過程中會使用到的 PPSF form，找出正確的 PPSF form 對於有利於後續的光罩鄰近效應修正，該 PPSF form 可能是最適合某個特定光罩材料結構或可適用於本研究所探討的所有光罩材料結構，因此需要大量的數據分析，其中我們採用六種不同吸收層材料的光罩結構及 12 種 PSF form 去進行 Curve Fitting，Cost Function 使用的是對數歸一化平方和誤差，最終在大家的齊心努力下，並根據大數據分析，最終也成功找出該最佳化參數化點擴散函數，雖然過程中會遇到一些困難，或是出現一些小錯誤而需要重跑數據，但這都是告訴我們做研究需要高嚴謹性，像是 code 內所寫的公式需要檢查是否有錯誤，也因此才需要大家都去進行 Curve Fitting 的數據收集，以避免有人的數據有錯誤的情況。在後面撰寫論文的部分，學長會分享自己的經驗，告訴我們一些需要特別注意的地方，不論是在摘要論文或是海報的製作上都學到很多，以至於本共學小組除了參與校內理工學院舉行的學生學習成果競賽獲得佳作外，還參與了 2022 美國的 EIPBN 國際研討會，並順利獲選入該會議論文內，讓我們這幾月的成果有一個美好的果實，這都是依靠大家的努力和指導教授的協助。在老師推崇規律地自我學習的狀況下，在共學小組的幾個月內對於半導體領域的相關知識變得更加深厚，團隊能力獲得了更高的默契，解決問題的能力上也獲得很大的提升，更重要的是培養出一定的自律性與自我思考能力，而非一昧的按照指導教授給予的想法走，成員間對於一些不解的地方會互相討論，提出自己的看法，也會與指導教授討論，因此這樣有益的共學方式將會持續進行，並讓有興趣的同學一同加入參與到成長的行列中，提升自我在未來職場的競爭力，培養自己更多的經驗和尋找自我的方向。

#### 執行檢討與建議（優、缺點） 【註：字數需超過 500 字】

本學期之研究已告一段落，對於本次共學小組的執行，我們分別整理出優缺點。首先是在共學小組中所收穫到的部分，本共學小組制定的主題「半導體微影技術之研究」是一些大一或大二生還沒有接觸過的領域，因此可以提高大家對於這方面的領域知識，並且該研究可透過軟體來進行模擬以生成我們所需要的數據，節省了實體操作的成本問題，再加上組員的分工完善，每個人都有配合進度在執行，並且互相協助，用自己擅長的領域去幫助較不擅長的同學，達成共同成長及補足成員短處的部分，使研究進度與速度維持在預期上，不會出現大幅的拖延。而不同年級的成員組成，可以使大家互相監督進度，高年級也可以藉由輔助低年級使自己的知識更加吸收內化，可以將理解的東西說出來讓學弟妹懂，同系

間也比較不會有不好意思提問或討論等溝通上的問題。然而，本次會議皆為線上形式，因此討論上多有不便，有的時候會出現指令傳達不完善的部分，可能大家沒有完全理解到要怎麼做這件事，因此有的時候會有一些小斷層，再來模擬的參數設定與 Code 的程式編寫都需要再三檢查，確保所有人進行的模擬都是一致的，以減少重新跑數據的時間，相關文獻上的知識，也是大家需要去多看多補充的，或是自行找一些書來補足自己的不足，在這方面組員可能都需要再加強。

#### 預期共學目標達成情形

【註：字數需超過 500 字】

本研究預期用 CASINO 進行蒙地卡羅模擬環境的建立，並設定六種不同吸收層材料的光罩結構參數，以獲得後續擬合要使用的吸收能量分布，其中光罩參數組合是延續上次共學小組所進行的研究。取得光阻內的吸收能量分布後，將該數據丟入 MATLAB 進行 Curve Fitting 的運算，我們採用的 cost function 為對數歸一化平方和誤差，並依照 PPSF form 的項次及複雜度由低到高依次模擬，在曲線擬合的過程中，我們進行了多項嘗試，包含係數的調整、優化的數值程度以及使用更多的項次去擬和，但最終我們採用的項次最高只使用到三，這是為了避免過度擬和的現象，最終三個指數函數組合所擬和出來的誤差值也與圖形化輸出的曲線貼合程度一致，為最佳的參數化點擴散函數。除此之外，我們也有在進行不同 cost function 的嘗試，可以發現在同樣的 PPSF form 下進行不同 cost function 的計算，所得出來的誤差是不同的。

本研究預期將論文投稿國際會議論文及論文競賽 2022 The International Conference on Electron, Ion and Photon Beam Technology and Nanofabrication (New Orleans Louisiana, USA)，最終也順利投稿並入選，同時，也有派人參與校內競賽的學生學習成果競賽，也榮獲佳作，可說是成果豐收。相信再經過這次共學小組的經驗，大家又都累積了更多的實力與經驗，並以很快的速度在成長著，培養了一定程度的團隊默契下，下一次共學小組的籌備研究也會更有效率，並能做出更多更好的成績，對於新進學弟妹來說，也是很好的學習機會。

#### 成員心得分享

【註：每位成員均需有心得分享，總字數需超過 2000 字】

謝○意：

我在這學期的共學小組學到了，模擬不同的加速電壓或是不同的材料基板，都可能要使用各自相對應的 PPSF form 才能使 Curve Fitting 的誤差壓得更低。也學到不同的 Cost Function 會使相同的 PPSF form 得出不同趨勢的誤差值，因此在這學期的共學小組學到大家分工蒐集 Curve Fitting 的結果，再根據擬大數據分析以找到最佳解，是共學小組大家共同研究的功勞。

王○平：

這學期參與共學小組收穫了許多，夥伴們都很細心也彼此會準備自己的主題與內容來討論，針對研究室的主題亦能有不同的想法進行探討，使我們的成果能更加豐富。學習的過程中，我們也能收集各自的意見與想法，當遇到難以解決的問題時，加以深入討論探索，加深彼此的印象，實在無法解決再去找老師。小小可惜的是這學期因為疫情的關係無法實體，許多討論透過線上進行，在討論上多少有時不太方便。

徐○庸：

在這次的共學小組中我學習到了很多專業知識，同時也讓我在這方面增廣見聞獲益良多，除此之外再一次次的討論中我也學習到和小組中的其他人要如何相處，雖然在討論中難免會有摩擦，也會有點雙方各持己見僵持不下的情況，不過我認為這是好事因為有摩擦才會讓我們學到不同的東西，並且從一次次的溝通當中了解彼此的看法從中找出最平衡的論點讓團隊有所以進步，謝謝這次共學小組所以開設的課程讓我有所進步。

李○瑾：

在這學期的共學小組活動中，我學習到有關於鄰近效應修正的相關知識，像是鄰近效應修正的過程中會使用到 PSF form 來描述光阻內的吸收能量分布，而我們使用 Curve Fitting 來獲得本研究尋找的目標最佳化 PPSF form，但由於不同的光罩結構對應的最佳化 PPSF form 可能是不同的，再加上使用的 cost function 不同，會造成同一個 PPSF form 的誤差趨勢不同，因此需要進行 pattern prediction 來做最後的驗證，看結果是否精準。

李○笙：

這學期我跟實驗室的其他成員一起參加了共學小組。我參加這個計畫的目的是，可以與實驗室的成員一起在半導體領域進行研究。這學期台東大學理工學院舉辦了學生學習成果競賽，我和共學小組的成員一起參加了這個比賽，經過三個禮拜的努力我們取得優等獎。比賽結束後，我們開始對曲線擬合的成本函數進行研究，為了測試公式是否可以算出最小的誤差使用許多成本函數用運算，最後確定了公式與 initial data 代入程式算出 AED 與 PPSF 的誤差。

丁○安：

經過這學期老師的教導，我學到了很多有關半導體製程工藝的知識，老師也很有耐心地帶領我們這組的成員，我學到了什麼是半導體光罩和電子散射，我們也學會如何對電子散射路徑做 curve fitting。這樣可以找到較好的光罩材料。做這些的幫助在於可以讓光罩的解析度增加。我們也學會了如何鑽寫國際會議論文，我們發現難度跟國內的差異非常之巨大。雖然花了非常多心力撰寫，但是最後投稿成功的時候真的很開心。也過得很充實。

陳○璇：

學長姊的帶領使得我們更加進入狀況，對於專題的內容更加了解，這學期主要在更換 cost function，藉由嘗試不一樣的 cost function 得到不一樣的結果，並與專題的學長姐討論從這些結果可以得到什麼，且可以更加確定 alpha、beta、gamma、eta、eta\_plus 的意義，並將結果帶入 pattern prediction 才能進一步驗證做出來的結果是否準確，藉由每個禮拜與學長姐討論，我也可以從學長姊身上學習到更多我所缺少的技能並且能激發出更不一樣的東西，我認為共學小組對於我在專題研究上有著極大的幫助。

張○翎：

這個學期主要是研究每一種材料在什麼樣的 cost function (成本函數) 下及什麼樣的 form 下會有最好的擬合效果，我們運用 matlab 進行 curve fitting (曲線擬合) 找出最佳的 PPSF，再用得出之結果做 pattern prediction 進行實驗上以及理論上數值的比對，以確認我們得出之結果是否符合預期。在這學期的學習之下，我對於 matlab 的使用以及每個程式都有更多的了解，我也學習到了在進行學術上面的研究時，除了要做數據上的分析，了解每一部分的物理意義，尋找論文來驗證及學習也是非常重要的一部分。

張○翔：

這一年的學習讓我對半導體這個領域有了更深一層的認識，尤其是對光罩模擬的理解，對於程式語言也越來越熟悉，雖然仍然有許多進步空間，但相比起之前的自己，我相信已有很大的提升，將來也會持續的進步；在學習之餘，教授也告訴了我們許多在業界做人處事得道理，使我受益良多，也讓我對未來有更多期許，有更明確的目標極努力的方向，與同輩間的互相磨練鼓勵，也刺激了我學習的動力，相信我在這裡的歷練，能幫助我在以後的日子少吃很多虧。

董○聖：

在加入這個實驗室，也有將近了一年左右，在這兩個學期裡，我學到了不僅僅是有關專題上面的知識，更多的是對於數據上的辨識能力、自我學習的能力、對於論文和海報的製作方式等等。我認為這些都是可貴的磨練，不管是對於現今課業上的完成，亦或是對於將來論文題材、簡報的製作，都能有很大的幫助。我認為其中幫到我最多的大概就是自我學習的能力，在國、高中時，老師通常會將教材那類的資訊都準備完善，大學有些課堂也是一樣的。但在這個團隊裡，教授會將課題指派給我們，想一開始時，我對於教授指派的了解像是哪種程式的操作方法，那時我大概花了將近一個禮拜，尋找了相關的影片教學，官網上的資訊，這都增進了我尋找資料的動力與熟練度。最後，要很感謝能加入教授的實驗室，在這裡，有溫馨的學長姐會對於我們的問題，來做出詳細的回應，在這一年以來，我也覺得我進步了不少。

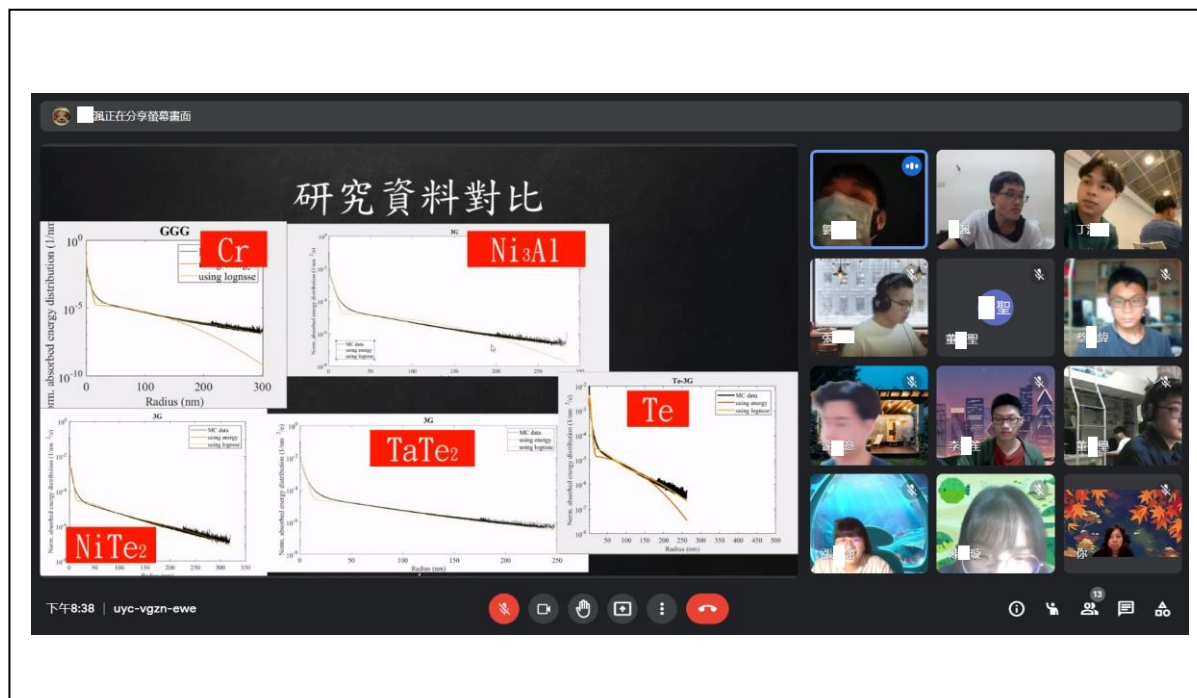
蔡○緯：

我們普遍認為，若能理解透徹核心原理，對其就有了一定的了解程度。動機，可以說是單純的力量。深入的探討半導體，是釐清一切的關鍵。費斯克曾提出，思想的自由就是最高的獨立。這段話讓我所有的疑惑頓時豁然開朗。我們一般認為，抓住了問題的關鍵，其他一切則會迎刃而解。共學小組存在的意義正式如此，俗話說的好，掌握思考過程，也就掌握了半導體。半導體的出現，必將帶領人類走向更高的巔峰。經過上述討論，就我個人來說，半導體對我的意義非常重大。在科技業闖出一片天，就是我的目標。

**未來是否會再參與專業共同學習小組之申請 ( 組長填寫 )**

|     |                                           |                                          |    |
|-----|-------------------------------------------|------------------------------------------|----|
| ■是， | <input type="checkbox"/> 會以目前成員為主，再選讀其他主題 | <input type="checkbox"/> 會再邀請其他成員，選讀其他主題 | □否 |
|     | <input type="checkbox"/> 會以目前成員為主，選讀相同主題  | ■ 會再邀請其他成員，選讀相同主題                        |    |

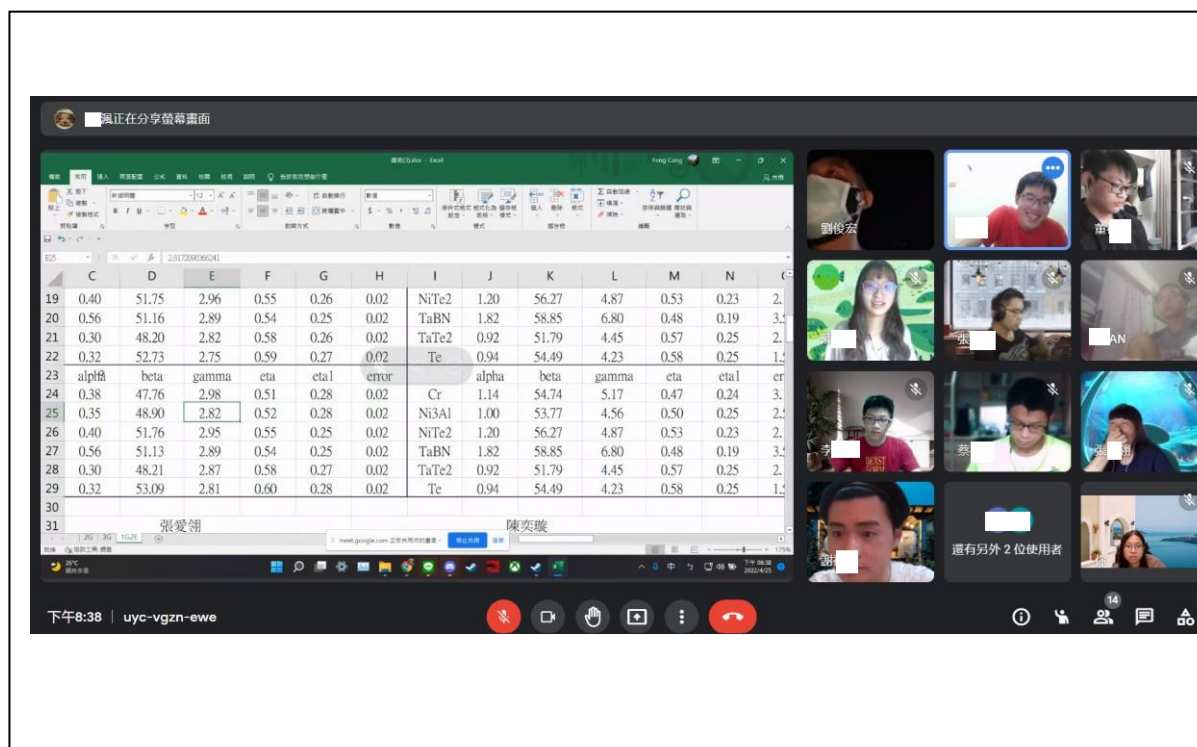
## 學生專業共同學習小組 共學紀錄



共學日期：111/04/11

地點：Google Meet 會議

照片敘述：各種材料的曲線擬合圖

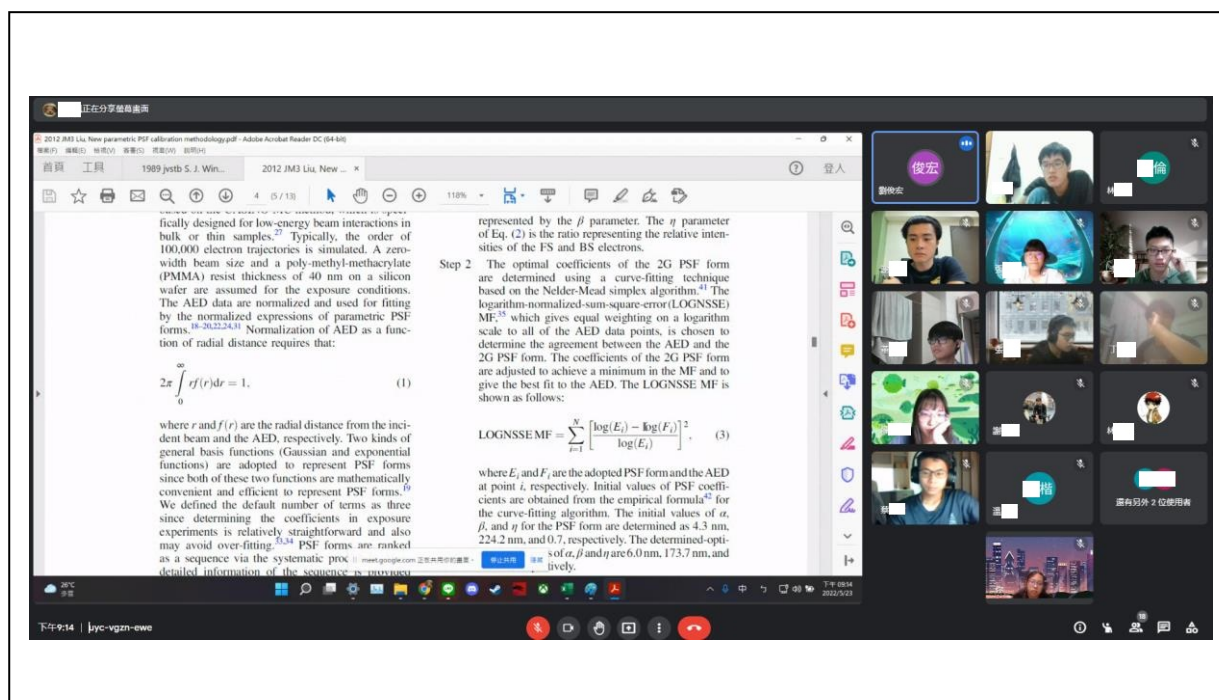


共學日期：111/04/25

地點：Google Meet 會議

照片敘述：不同 PSF 的數據統計資料

## 學生專業共同學習小組 共學紀錄

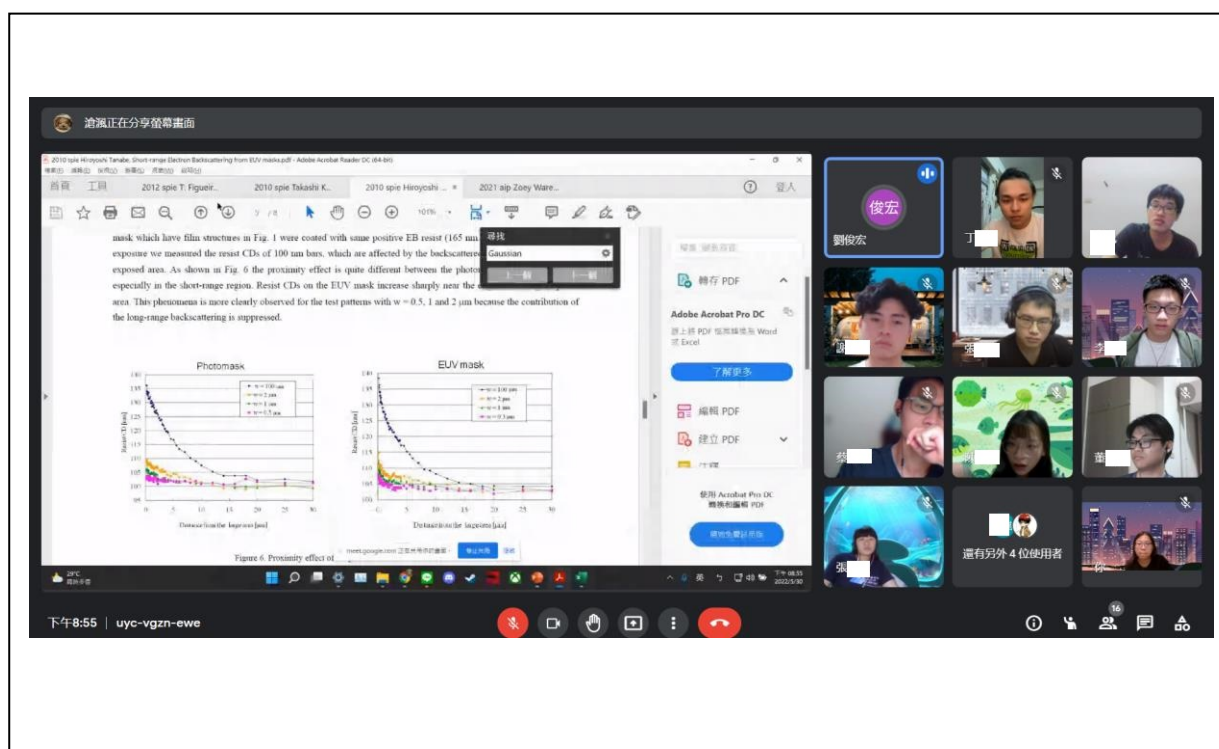


共學日期：111/05/09照

地點：

# Google Meet 會議

## 片敘述：參考文獻之討論

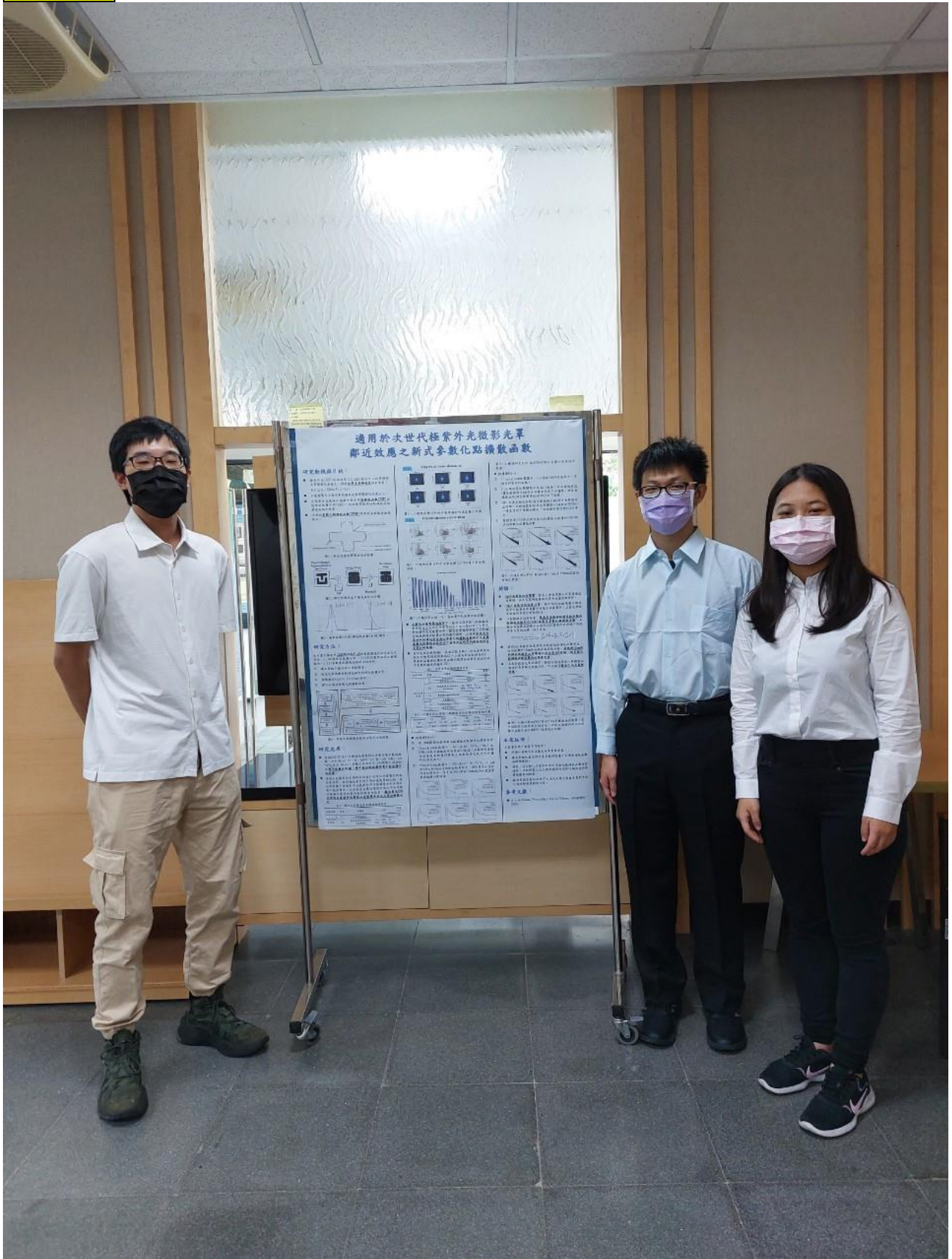


共學日期： 111/06/06

地點：

Google Meet 會議

### 照片敘述：相關知識學習







# 獎 狀

國立臺東大學「綠色與資訊科技學士學位學程」

學生 李 瑾、王 平、李 笙

參加本校 理工學院 2022 學生學習成果競賽

「生物與應用科學類組」

榮獲 **佳作**

特頒獎狀，以示表彰。

《參賽作品》

作品編號：11105-02-005

作品名稱：適用於次世代極紫外光微影光罩鄰近效應之新式參數化點擴散函數

指導老師：劉俊宏 助理教授

校長 曾昭銘



中華民國 111 年 05 月 18 日



# 參 賽 證 明

茲證明 國立臺東大學 綠色與資訊科技學士學位學程

學生 李 瑾、王 平、李 笙

參加本校理工學院「2022 學生學習成果競賽」

生 物 與 應 用 科 學 類 組

《參賽作品》

作品編號：11105-02-005

作品名稱：適用於次世代極紫外光微影光罩鄰近效應之新式參數化點擴散函數

指導教授：劉俊宏 助理教授

競賽期間：111 年 5 月 09 日~111 年 5 月 13 日

特頒此證，以茲證明。

校長 曾耀銘



中華民國 111 年 05 月 18 日



TRANSISTORS.

## Hyperlinked Poster Presentations (PDF)

### PR-1

[A new parametric point spread function at low keV for next generation EUV mask proximity modeling and correction](#), Chun-Hung Liu, Hsing-Yi Hsieh, Yun-Chin Li, Chieh-Sheng Lee, Ze-An Ding, Ai-Ling Chang, Yi-Xuan Chen, Yung-Hsiang Chang, Wei-Yung Hsu, Shuen-Ping Wang and Kuan-Fu Huang, [National Taitung University](#)

We present results of resist response at 5-keV according to MC simulation on different EUV absorber materials and demonstrate a new compact 3-terms PPSF (1G+2E) which shows averagely 20% improvement than the best 3E one. We find intensity weight of  $\eta$  and  $\eta'$  almost shows a positive correlation with Z.

### PR-2

[Development of Love wave resonators for biological sensing](#), C. Veras, A. Joulie\*, A. Reinhardt\*, T. Alava\*, M. Bousquet\*, P. Mailley, Univ. Grenoble-Alpes, CEA-LETI\*, MINATEC Campus\*

The present work focuses on the development of a MEMS based on Love wave resonators fabricated on a LiNbO<sub>3</sub> substrate and a waveguide SiO<sub>2</sub> layer. The SiO<sub>2</sub> layer also plays two other essential roles acting as an electrical insulator and offering a surface on which to graft bioreceptors.

# A new parametric point spread function at low keV for next generation EUV mask proximity modeling and correction

C.H. Liu<sup>a, b</sup>, H.Y. Hsieh<sup>b</sup>, Y.C. Li<sup>a</sup>, C.S. Lee<sup>a</sup>, Z.A. Ding<sup>a</sup>, A.L. Chang<sup>a</sup>, Y.X. Chen<sup>a</sup>, Y.H. Chang<sup>a</sup>, W.Y. Hsu<sup>a</sup>, S.P. Wang<sup>a</sup>, K.F. Huang<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Interdisciplinary Program of Green and Information Technology, National Taitung University, Taitung 95092, Taiwan

<sup>b</sup> Department of Applied Science, National Taitung University, Taitung 95092, Taiwan

e-mail: chliuzh@nttu.edu.tw

The next generation EUV masks adopt a variety of thinner absorber materials fabricated on reflecting multi-layer (ML) stacks, attempting to reduce the mask three-dimensional (M3D) effect, improve the wafer-level optical performance, and enhance the development and etching processes.[1, 2] To accurately maintain the mask fidelity processed by low-keV e-beam lithography, the absorbed energy distribution (AED) spread from the electron scattering in the resist and absorber layer is necessary to be discussed.[3] In this work, we (1) first present the results of resist response to 5-keV e-beam patterning according to statistical Monte-Carlo simulation on different EUV absorber materials; (2) demonstrate a new 3-terms mathematical combination of parametric point spread function (PPSF) form which can be more appropriate to describe the overall-range AEDs when using various absorbers and more practical for mask proximity correction (MPC) algorithms because of its compact property; (3) compare with the conventional combination of two/three Gaussian (denoted by "2G/3G") or even the three exponential (denoted by "3E") functions represented with three/five parameters characterizing the forward scattering range ( $\alpha$ ), the backward scattering range ( $\beta$ ), the ratio of the backscattered to the forward scattered exposure intensity ( $\eta$ ), the range between forward and backward scattering ( $\gamma$ ), and the ratio of the in-between range phenomena to the forward scattered exposure intensity ( $\eta'$ ); (4) analyze the correlation between the determined parameters of PPSF and the atomic number ( $Z$ ) or the average atomic number ( $\bar{Z}$ ). The new PPSF form is constituted by one Gaussian and two exponential functions (denoted by "1G+2E") to describe the short-, mid-, and long-ranges, respectively, with the curve-fitted parameters based on minimizing the logarithm-normalized-sum-square-error (LOGNSSE) cost function to determine the agreement between the AED and the PPSF, using Nelder-Mead simplex optimization algorithm.[4] According to recently published studies regarding improvement of M3D effect, optical performance, and process related, we select four advanced and 32-nm thin absorber materials including Te, TaTe<sub>2</sub>, NiTe<sub>2</sub>, and Ni<sub>3</sub>Al as compared with the EUV/ArF masks' baseline TaBN/Cr. [1, 2] Under conditions of the EUV mask stack shown in Figure 1 (a) at 5 keV, the AEDs with various absorber materials shown in Figure 1 (b)-(g) are not suitable to be described only by 2G PPSF due to mid-range scattering observed. We also find the mid- and long-range radiuses cannot be described by Gaussian form such as 3G PPSF when the equal weighting on a logarithm scale to all of the data points is considered. The preliminary results show that the exponential form without curvature property is more proper than Gaussian form to mention the mid- and long-range radiuses since the backscattering electrons caused from even the thin 10-nm TaBO ARC and the higher  $Z$  or  $\bar{Z}$  absorbers demonstrate smooth distributions rather than curved ones. In addition, we compare the difference between using the exponential (3E) and Gaussian (1G+2E) forms in short range while using the same exponential form in both mid and long ranges shown in Figure 1 (b)-(g), averagely 20% improvement of overall fitting error is obtained. Figure 2 compares the relation between the fitting parameters ( $\alpha, \beta, \gamma, \eta, \eta'$ ) of the new 1G+2E PPSF and the various absorber materials under comparable fitting error. The determined  $\alpha$  values are extremely small because of narrow forward scattering with zero-width beam blur. It is interesting that the intensity weight of  $\eta$  and  $\eta'$  almost shows a positive correlation with  $Z$  and  $\bar{Z}$  besides TaBN with such heavier nature. The outlier of TaBN and the following patterning prediction results with different PPSFs including the influence on through-pitch proximity effect to examine the fitting performance are ongoing.

[1] V. Luong, V. Philipsen, K. Opsomer, J. Rip, E. Hendrickx, M. Heyns, C. Detavernier, C. Laubis, F. Scholze, Assessing stability of metal tellurides as alternative photomask materials for extreme ultraviolet lithography, *J. Vac. Sci. Technol. B*, 37 (2019) 061607.

[2] R. Sejal, B. Smith, Identifying extreme ultraviolet lithography attenuated phase shifting mask absorber materials using effective media approximation modeling, *J. Vac. Sci. Technol. B*, 39 (2021) 062604.

[3] P. Hudek, M. Jurkovic, P. Choleva, W. Wroczewski, M. Hashimoto, K. Ono, T. Fukui, T. Takahashi, K. Takahashi, Multi-beam mask writer exposure optimization for EUV mask stacks, *Journal of Micro/Nanopatterning, Materials, and Metrology*, 20 (2021) 041402.

[4] C.-H. Liu, New parametric point spread function calibration methodology for improving the accuracy of patterning prediction in electron-beam lithography, *J. Micro/Nanolith. MEMS MOEMS*, 11 (2012).

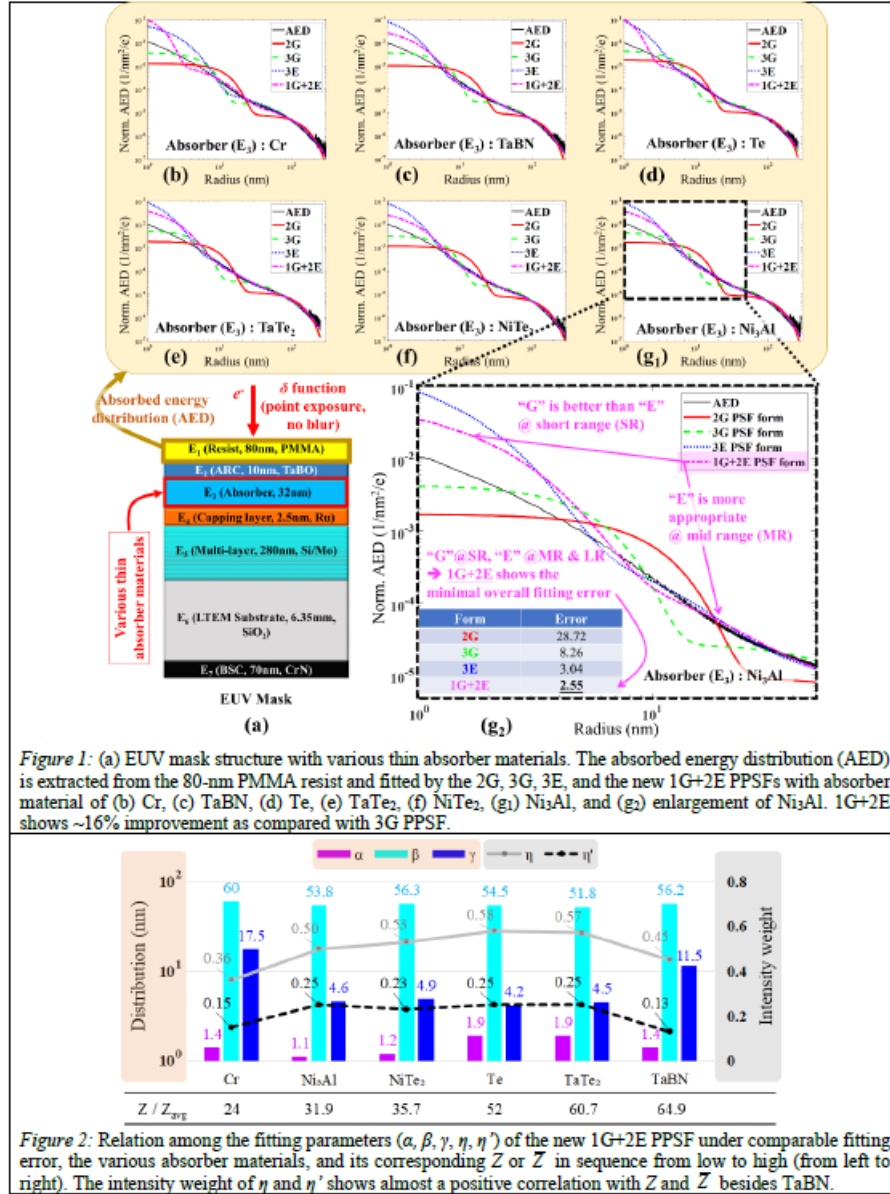


Figure 1: (a) EUV mask structure with various thin absorber materials. The absorbed energy distribution (AED) is extracted from the 80-nm PMMA resist and fitted by the 2G, 3G, 3E, and the new 1G+2E PPSFs with absorber material of (b) Cr, (c) TaBN, (d) Te, (e) TaTe<sub>2</sub>, (f) NiTe<sub>2</sub>, (g<sub>1</sub>) Ni<sub>3</sub>Al, and (g<sub>2</sub>) enlargement of Ni<sub>3</sub>Al. 1G+2E shows ~16% improvement as compared with 3G PPSF.

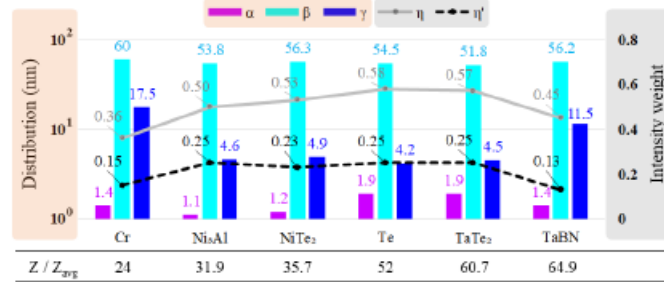


Figure 2: Relation among the fitting parameters ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\eta$ ,  $\eta'$ ) of the new 1G+2E PPSF under comparable fitting error, the various absorber materials, and its corresponding  $Z$  or  $Z'$  in sequence from low to high (from left to right). The intensity weight of  $\eta$  and  $\eta'$  shows almost a positive correlation with  $Z$  and  $Z'$  besides TaBN.