

光鉗技術所編織的日台友好 —研究者眼中台灣實力的泉源

台灣·國立交通大學
增原 宏



◆增原 宏 (Masuhara Hiroshi)
台灣·國立交通大學 講座教授

1968年 東北大学大学院理学研究科修士課程化学専攻修了
1971年 大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程化学系
化学専攻修了
1972年 大阪大学基礎工学部合成化学科助手
1984年 京都工芸繊維大学繊維学部高分子学科教授
1991年 大阪大学工学部応用物理学科教授
2004年 大阪大学大学院生命機能研究科教授 (兼任)
2005年 大阪大学大学院工学研究科精密科学・
応用物理学専攻教授
2007年 (財)濱野生命科学研究財団 主席研究員
2008年 紫綬褒章
2017年 瑞宝中綬章
日本化学会フェロー, 光化学協会名誉会員, 科学と芸術に
関するベルギー王立フランダースアカデミー外国人会員等

本次的採訪活動，我們離開日本來到台灣觀察在海外利用雷射做實驗之日本人的身影。現任台灣國立交通大學教職的增原宏先生，為日本光鉗技術 (Optical tweezer) 研究的第一人，近日因為研究領域和今年諾貝爾物理獎相關，頓時成為熱門話題。如今高齡的74歲的他，並沒有被年紀所限制住，2008年自大阪大學退休後，仍受邀至交大繼續研究、提攜後進。

增原教授實驗室所在的新竹市距離台北市搭高鐵約40分鐘的車程，鄰近的科學園區因為聚集了許多IT產業相關工廠及公司而有台灣矽谷之稱。同時園區的設立除了造成顯示器及半導體等高科技產業的群聚效應之外，也間接成為日本高科技業威脅的所在。

從待過台灣及日本兩地的增原先生的談吐之中，我們得以進一步理解台灣產業競爭力的來源，並將其作為改進日本產業的參考。另外，從認真地繼續著培育學生工作的他身上，可以看出身為一個研究者應該具備的身影。本次採訪由於受到雜誌版面的限制，無法收錄全部的訪談內容實屬可惜，畢竟這是一次十分有意思的採訪，首先，讓我們一起看下去。

—請告訴我們您和雷射之間的關聯

我原本就讀東北大學理學院化學系，並且加入了當時日本光化學界中心的小泉正夫教授實驗室。當時的我抱持著以量子力學角度

解釋分子之電子狀態來進行光化學研究為前提，進一步來到大阪大學基礎工學部又賀昇教授實驗室攻讀博士學位，當時正好是雷射技術導入化學系各實驗室的時期。對於擔任雷射技術管理負責人的我，教授曾說過這麼一句話：「增原同學，你現在眼前所看到，正在發光的普通燈泡，在不久的將來會被雷射所取代！」

也就是說，使用雷射技術來研究物質不僅會成為主流，更能夠得嶄新的知識，因此我們可以預期雷射技術在光化學研究之應用將蓬勃發展，甚至如颶風般襲捲而來、對世界帶來重大變革。在當時的日本，握有此機會的實驗室有三間，分別是：東京大學物性研究所—長倉三郎教授，東京工業大學—田中郁三教授（之後亦擔任校長），以及上面提及之我在大阪大學的指導教授，這是1960年代後半的事。

在雷射大致普及的1985年，美國加州大學柏克萊分校的物理化學家—喬治·皮門特爾(George C. Pimentel)在美國國家科學研究委員會(National Research Council)發表了對於將來化學研究重要技術之統整報告”Opportunity in Chemistry”，文中他提到雷射是化學研究不可或缺的三項神器中的其一，讓我再次確認我所前進的道路是正確的。在那之後也發展出了陶瓷雷射及量子點雷射等新型光源，這是一項同時兼具基本與革新性質的技術，從最初的雷射振盪實驗開始至今數十餘載，新技術仍然不斷登場。

1988年負責ERATO計畫時(當時之新技術開發事業團(現日本科學技術振興機構JST)的增原極微變換計畫)以光源作為實驗方法，自阪大退休成為先驅計畫總負責人時，果不其然，也是光應用相關之主題，我這一生自始至終充滿雷射分子動力學、分子科學技術相關的研究。



國際色彩豐富的增原研究室成員

一為甚麼會來到交大教書呢

是這樣子的，回溯到2007年，時任交大教職的李遠鵬先生(1986年諾貝爾化學獎得主李遠哲先生的弟弟)以我的退休作為契機邀請我來到此任職。他也是因為使用雷射技術而富有盛名的物理化學家，當時他所提供的實驗室規模，包含設備及人員，和我在阪大的時期十分相近，除此之外他還對我這麼說過這麼一句話，最終成為我選擇交大的原因：「盡情做你自己想做的事吧！」當初雖然也有來自其他亞洲國家的邀請，但就算設備等再怎麼充足，依然不及李遠鵬先生的那句話。

讓我得以在這裡研究的基礎為2006年開始運作之「邁向頂尖大學(Aiming Top University Program)」計畫，此計畫一期五年，兩期共為期十年，簡言之就是以提升大學排名為目標的計畫。設立第一年，來到交大電物系的是東京大學理學院物理系退休，擅長飛秒光譜學的小林孝嘉教授，隔年是東京大學理學院化學系的拉曼光譜學權威—濱口宏夫教授，我則是以第三人的身分在2008年來到交大應化系。現在的我擁有自己的研究室，並且和日本五所大學附屬研究所(北大電子研究所、東北大學多元物質科學研究所、東京工業大學化學生命科學研究所、大阪大學產業科學研究所、九州大學先導物質化學研究所)組成5+2同盟，若將博後也算

進來，在交大可能有數十個日本人也說不定。日本團隊的加入，對於大學排名的上升也是此計畫重要的一個環節。

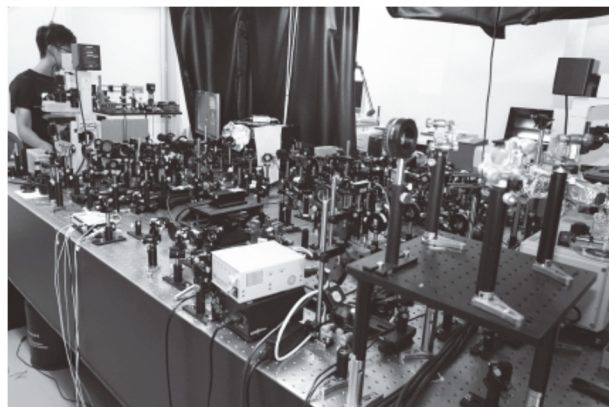
十年計畫結束後的今年，交大理學院開始推動所謂「新世代功能性物質研究中心計畫 (Center for Emergent Functional Matter Science)」，在三大研究主題之中我成為生物分子尖端探測 (Intelligent Bio-medical Sensing and Device) 團隊的一員，如果情況允許，我希望接下來包含今年共五年的時間我還能繼續在這裡做研究。

一具體來說，現在正在進行怎麼樣的研究呢

我初期進行「光譜學測定光照射誘發之最初生成光激發狀態及分子反應過程」之相關研究，是日本首次在奈秒的時間尺度下測定 UV-vis 吸收光譜，藉此觀測離子以及離子衰變後質子的變化，解析光化學的基本反應過程。

剛開始接觸雷射光譜學時，時間解析度尚且停留在奈秒，隨後來到皮秒，而飛秒尺度的瓶頸大約要等到 1980 年代才成功突破。當時的我雖然獨自擁有京都工藝纖維大學一間實驗室，卻連購置數千萬元皮秒解析度雷射系統的資金都沒有，於是我選擇放棄時間解析度那逐漸白熱化的戰場，轉換跑道去研究雷射控制之分子固體反應，也就是雷射微加工下的分子論及電子論。究竟分子會溶解、亦或是被打散呢？這些反應過程就是我的研究。當時我透過雷射研究之分子反應過程確立了我在這個領域的地位，說到這不得不提到 ERATO。

因為拿到了來自 ERATO 的補助經費，讓我有機會重新拾起曾經放下的題目，從皮秒一下子提升到飛秒並且再次參與競爭。不過不管是達到時間解析度的過程，抑或是觀測反應過程瞬間的觀念已經廣泛被大家所接受，能夠量測奈秒尺度這件事雖然轟動一時，但



實驗室中具備的光鉗技術用實驗裝置

是既然現階段已經達成，下一步就會晉升到皮秒，再接著就是飛秒了對吧，想當然我也認識到這不是一件簡單的事。

但說實在的我所希望的並不是像這樣的角力，我們應該要讓雷射所帶來不同的構思帶領我們朝向我們想前進的方向。屆時，我們不僅僅能夠完整地以時間解析度來看化學反應，更能將顯微鏡導入我們的研究中。1988 年起步的增原 ERATO 計畫，不僅僅是時間解析，因為空間解析化學的研究更讓大家注意到我們，在那之中當然也有投以懷疑目光的人呢！1993 年時，我們將眾多的成果集結成冊，收錄在我和我的同事們共同出版的「微化學 (マイクロ化学)」一書中。

當然，我們也著手過高速顯微光譜學及奈米加工等研究，其中最有趣且至今仍然抱有高度興趣的是利用顯微聚焦技術誘發之微粒及分子集合體 (assembly) 的力學作用力—光壓。這個技術能夠使微米、奈米等級的微小粒子在我們的控制下自在地在溶液中移動。當我們深入探究各種化學現象，有趣的現象會接連產生，就算過了 30 年的現在，光鉗技術依然在台灣持續發展中。而且利用光鉗技術探討微觀機制或是分子材料化研究的實驗室也不僅僅只有台灣而已。

—具體來說，這項技術能夠達到甚麼目的

我們利用這個技術達成的其中一項成果便是光鉗誘發之結晶化。以顯微鏡將雷射聚焦成僅僅一微米範圍內具有能量的光點，卻能夠成長出超過 10 微米的結晶。我們也有辦法達成只在有雷射照射的時間點、光照射的位置成長出一個單晶的能力。以胺基酸為例，我們甚至能夠藉由調控雷射的偏振方向來控制結晶型態，而現在也將我們的研究範圍應用到有機分子及無機化合物上，期望能發現不同於以往的結果。

再者，某幾種特殊的蛋白質若是受到光鉗技術的影響而萎縮，也有機會形成造成阿茲海默症及帕金森氏症的澱粉類蛋白(Amyloid fibril)，該蛋白在人體內的生成機制還不明確，但我們可以透過光鉗抓住蛋白質使其形成聚合體，甚至有時候會進一步形成類澱粉蛋白。在這過程中我們可以使用空間解析以及時間解析來觀察其形成，最初成功時我們所觀察到的是許多小顆粒形成之類纖維管狀結構，目前正以含有蛋白質及有機大分子的生物高分子為對象進行實驗。

關於光鉗技術的探究，不管對於化學界、抑或是物理學界都十分重要，此外，我們也想開發以顯微鏡中的雷射焦點為中心，向外拓展數十微米領域之新型光鉗技術，以分子尺度甚至是電子尺度來探討分子排列的動力學。我們持續進行高分子奈米粒子及金屬奈米粒子作為樣品的研究，最近在金奈米粒子的實驗中發現焦點周圍彷彿群蜂飛舞般的Swarming現象。現階段的題目即是「光鉗技術控制之生物材料、奈米粒子排列及材料化的展開」。

—從台日兩方來觀察，您怎麼看各自的大學

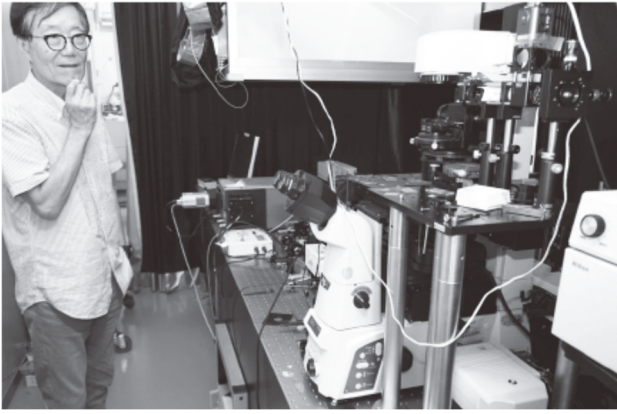
起初我以為台灣的大學會以以前日本的「講座制」，為基礎所發展出的小組制，實際上不論位階，在台灣每個人都是各自擁有各



自的實驗室，但我覺得這不是一個能夠提高研究成果的環境。

先說點題外話，我曾經聽說台灣十分重視學校的校名，公司甚至會因為你所就讀的學校來決定起薪，雙親也會抱持著「不管甚麼科系都可以，總之去一間好一點的大學」的想法，公司也不會優先找與自己職缺相關的人才，而是依據學校來作為錄取的基準。於是乎，交大頂尖的學生都會離開去台大甚至是國外的學校攻讀碩士學位，反之，排名在交大以下大學的學生便來到了交大，如此一來碩一幾乎都是外校生，寫過學士論文（專題）的人自然也微乎其微，教授年復一年和新的碩士生一起做研究，遂形成為了取得經費不得不等待一年審查的模式。這樣對於為了發現新的觀念以及研究方法而設計之充滿挑戰性的題目來說，執行上有諸多的困難。

以我在阪大的經驗，在日本具有一定規模的大學通常都會讓新進的研究助理著手新的研究，等到其達到適當年齡之後便會讓他們帶著實驗裝置、設備進行獨立研究，下一任助手繼續開啟新的題目，如此周而復始便能夠在探討新觀念的同時也有餘裕進行基礎研究。有時助手做的題目也不會是教授的研究主題，而是在十年後的將來可能成為主流的基礎研究，所以以正在進行的題目來說，相較於台灣，日本會比較豐富且新穎，這是我所認為最大的相異之處。



—承上，若是以學生為主體討論對象的話呢

台灣的學生普遍英文程度較好，對於負責的事物不僅能說也能夠管理，十分優秀，去過日本的台灣學生都說果然還是台灣學生的知識量比較充足，英文程度普遍也是。只是說對於研究方面他們則表示不太清楚，日本的實驗室啊，大家常常會聊到深夜才回家。

台灣的學生往往下班時間到了便回家或是去運動，雖然相較之下比較健康，但我覺得日本的模式亦十分重要，不僅實驗的 Know-how，研究的態度以及哲學皆能傳達給新生，這是日本的優勢。還有一點，台灣沒有下班之後小酌的文化，只是單純帶著老師一起去吃飯，但在日本文化中，喝酒的同時有關研究的話題也會逐漸熱絡起來，相較之下台灣人顯得比較紳士呢！

—在日本，液晶顯示器等產業較無法與台灣競爭，對於這個現況教授您有甚麼想法

台灣人十分的活躍且獨立，許多這間大學的畢業生在園區都是中小型企業的老闆，起初他們先投入大企業，等到過了十年擁有一筆資金後便辭去工作，追求自己想做的事。雖然這是我的己見，但台灣 2200 萬人口居住在如同九州大小的土地上，很多事並不是自己決定就可以辦到。所以不得不團結起來和世界競爭。至於產業群聚效應主要發生在電子業，這所大學以電類著名，鄰近的科學園

區也比筑波的科學園區要來的朝氣蓬勃，特別是電子相關產業的公司。

這類的人才，對於今後電子業的發展想必把 AI 以及生醫也考慮到了吧。台灣道路上隨處可見日本或是德國製造的汽車，有時候也會見到國產 LUXGEN 汽車。十年前來台灣就任時完全沒有想過有朝一日台灣也能自行生產汽車。於是找了我比較熟悉的教授一問之下才知道說自動駕駛是未來汽車的趨勢，不管是軟體或是硬體設備，台灣都應該要早點製作，這必須是建立在知道市場需求的前提下做的決策，畢竟知道市場需求對於汽車製造業者來說是最理想的狀況。但問題來了，台灣的電子業在考慮將來趨勢時，誰來著手汽車製造？以日本及美國所扶植的汽車公司為基礎，有財力的人便率先舉手說：不然我們來做做看吧！於是 LUXGEN 因此誕生。

對油電混和車不感興趣的 LUXGEN，車子內部構造蒐集了許多日本及德國生產所製造的零件。他的車不僅貴，其高燃料費也常常為大眾所詬病，這也是因為產量不高的緣故，實屬不得已。但是以現今對汽車自動駕駛的需求來看，當初的決定或多或少也有預知的成分在。

當然，我想也有來自國家、企業團體或是超級有錢人的資助，舉例來說，就像是買下聲寶的鴻海總裁郭台銘般豪氣地喊出「那我出 1000 萬」，那些許多如同郭台銘般出資的人就是台灣的活力，也是實力來源。

當年交大畢業，如今已經累積一定財富的校友們曾說過要捐助數百億元來協助母校建設病院，並且要在五年後醫院落成時聘請醫生 100~200 人。交大在日本相當於是東京工業大學（正如其名是一間理工為重的大學）般的存在，對於他們的想法我不禁莞爾：「明明沒有就醫學院，是要怎麼去做呢」。根據他們的說法，重心主要是放在遠距醫療，也就是會變成在自家中也能透過 AI 來進行診療，

此設計不會進行一般的問診，但是會為了瞭解需求而進行遠距醫療及AI問診。又或者我們能夠盡早開發出可以現場取得病歷資料的裝置。對我來說，台灣的產業之所以能夠強大，往往是先有類似上述之構想，評估之後全力付之實行的結果。那些人五年或是十年後可能早已不在人世，卻可以為了台灣的發展而投入大量資金，開設公司行號，我覺得這就是台灣價值。

相對於產業的基礎研究部分，就算是規模最大的中央研究院仍然可以隱約感覺到對於科學獨創性的缺乏。他們雖然每年產出許多陸續發表在一流雜誌的論文，也有充沛的資金，英語也明顯較日本人來的有優勢，然而舉例來說，我們使用的金奈米、奈米線、超高解析度顯微成像技術以及脈衝雷射在單一細胞應用等，充其量只不過是別人開發之技術的集合體。當我指出這個問題的時，曾有人對我說過：「增原先生，像您所說的具有真正科學獨創性，且大家趨之若鶩的那些研究，讓你們日本或是來美國做不就好了嗎？畢竟我們的人口遠不及你們，產業結構也是根本上的不相同。不過啊，對於那些有可能應用到產業的技術，你們是不可能超越我們的。」

換句話說，其實台灣一直保有世界一流的技术，思考著這些技術是否能夠發展成為產業的同時，台灣優先考慮的是怎麼樣才不會輸給其他競爭對手。這就是在一座相當於九州大小的島上的生活著的這2200萬人，對於如何存活這個問題認真考量過後的做法。正因為這個重要的思維，當談到科學和應用結合的時候，台灣往往會比日本早一步動作。

自從來到台灣之後，考慮到國家大小、研究及科學技術發展的影響，果然無法將日本那1億2千萬人所撐起的科學完整複製到台灣呢。因此，台灣才會說：「像那樣基礎與進階的研究就讓你們來做！但相對地若是我們覺得這個技術臻於成熟，且將來有發展空間



或是利用價值時，我們便會搶過來做」。台灣和日本的最大的差異果然還是在於國家大小的影響以及雙方各自的文化，說起來和日本能夠持續並傳承的研究文化有所不同呢。

一說到連接日本與台灣之間的橋樑，教授有甚麼想法嗎

其一，我果然還是比較喜歡研究所學生。以大阪大學為例，比起產業科學研究所我更想成為基礎工學研究科的教授，甚至從年輕開始我就一直這麼想著。和學生共事這件事本身聽起來可能只是漂亮話，但實際上我到現在依然很喜歡，也一直持續著，也許我就是靠著吸收年輕人的活力作為能量來源而活著也說不定！

比起所謂的教育，我個人更喜歡透過研究來培養研究人才，於阪大任職的16年，在那之前京都工藝纖維大學的7年，甚至是最早在阪大擔任助理教授的期間，從增原研究室畢業取得博士學位畢業並且活躍於學術界的大約有30人之多。從前ERATO的小組組長或是主要成員如今也都是一流的教授。其中更有一名台灣學生成為關西學院大學的助理教授，要是交大的校長知道這件事想必會以「本校傑出校友遠赴日本擔任大學教授」一事感到十分喜悅吧。

—除了台灣還有和其他國家進行交流嗎

從孩提時代開始，除了科學研究之外我也對社會貢獻有興趣，成為研究者之後也逐漸思考著我是否能夠貢獻於整個亞洲。透過研究讓大家認識彼此是一件重要的事情，對日本多少也會有貢獻，比如日本光化學協會自1980年代開始，曾逐步將研究圈向外拓展至亞洲。以此過程作為基礎，再加上前輩及朋友的協助，我在2002年成為亞洲光化學協會(Asian and Oceanian Photochemistry Association, APA)的首任會長。

在這我學到了很重要的觀念。雖然這個協會是以日本為中心所設立，但我們不能總是把日本怎樣、日本那樣掛在嘴邊，我們應該要扮好在幕後協助的角色才對。亞洲光化學會議今年已邁入第十屆，但由日本來主辦還是第一次，日本理所當然提供最多的資金，而參加成員也是以日本為主，若是日本人不出席則會議無法順利舉辦，「日本應該更向前一步帶領大家」於是有的人這麼主張，但我則是抱持著反對意見，我覺得「日本應該要退一步好好思考怎麼管理這樣一個組織」。現在不應該是被雙方議論夾擠的時候，亞洲還有各種難關要去克服。我們以歐洲光化學協會為例，他們的基本單位為”個人”，但就亞洲來說，要達到每個人可以公平公正且公開地競爭，可能需要百年也說不定。

離開阪大時，那些邀請我的亞洲國家都曾如此說過：「我們的科學發展比日本慢了足足有20年、30年之久，希望教授您能夠來協助我們」，我個人卻認為我沒辦法做到甚麼實質的幫助。不論科學還是社會，多樣性都是十分重要的，做研究時必須要同時將這些因素列入考量。

—最後，希望您能夠對現在在學的日本學生說一段話

我在交大這裡開設所謂”增原私塾”也兩

年了，以科研費新學術石原計畫中的碩一、碩二學生等共計約20人為主要對象，花一天的時間持續討論著任何他們感興趣的議題。在這之中我對於大約一半的學生沒有去過國外這件事情感到十分驚訝，我是真心希望他們能夠出去看一下世界，大概就是「首先踏出你的第一步，用心體會所見所聞並且回過頭來思考」這種模式，若是覺得害怕不妨先來到離日本最近的台灣，從這裡做為出發點開始旅程吧！「向外國邁進就先從台灣開始吧」，我總是這樣跟他們說著。

不論是進入企業或是留在學校，日本都已經進入外國現地生產線地銷售的時代，然而現在在工作的日本人卻沒有在外地待過的經驗，這該如何是好呢？以埼玉大學與交通大學之間簽訂的雙聯學位來說，若是一個具有雙聯學位的埼玉大學畢業生到公司面試，想必到哪都會被採用吧，畢竟現在的企業也已經進入需要具有這種背景的人才的時代了。首先，並非「從歐美開始」，而是「由台灣開始向國外邁進」！

在這次的採訪過後不久，諾貝爾物理學獎也跟著發表。增原先生研究主題的光鉗技術的發明人—Arthur Ashkin 先生的頒獎和本篇文章在時間上的重疊雖然是偶然，但是對於本雜誌來說卻十分幸運。於是乎，增原先生就他的研究與 Arthur Ashkin 的研究之相關性為主題，又緊急寄了一份原稿來。

2018 年的諾貝爾物理獎頒發給光鉗技術及其在生物系統上的應用和高強度超短光學脈衝方法的開發。前者的開發者—Arthur Ashkin 雖然為非線性光學 (nonlinear optics) 以及光折變材料 (Photorefractive Materials) 等技術的權威，卻在 1986 年以他先前發表過的「聚焦雷射在微小粒子誘發之光壓」論文 (1970、1971) 為基礎，證實光鉗技術的存在。1988 年開始的 ERATO 增原計畫，其中一個主題就是利用這光鉗技術進行化學的研究，在有成果的 1990 年，時任研究員的喜多村昇、三澤弘明及笹木敬司 (皆為現任北海道大學教授) 一行人前往霍姆德爾鎮的貝爾實驗室 (Bell Laboratories, Holmdel, New Jersey, US) 拜訪 Ashkin 博士，和本人討論研究相關的話題，過程中博士十分專注地聽著，也針對我們的研究成果給了許多寶貴的建議。他將光鉗技術相關的結果總結在 "Proceedings of the National Academy of Sciences 94(10), 4853-4860" 和 "IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics 6(6), 841-856" 裡面，除了提及我們正在進行光鉗技術應用於化學領域的研究之外，亦引用了我們的成果集「Microchemistry」(增原宏等編輯, North-Holland, 1994)。當時，他也舉例該技術未來的發展，例如：細微加工

技術、微機械、分子馬達、基因工程、生物電腦等等，沒想到往後的發展真的如他所預測，以生醫應用為中心而展開。現今則是一邊透過計算力學、計算物理、光譜學來分析，一邊以分子論及電子論的角度討論光與物質交互作用產生之光壓；同時，有關分子和奈米粒子聚集形成特殊構造之動力學及材料化的研究亦十分盛行。

台灣·國立交通大學
增原 宏



從右至左分別為：E. Chandross (我的朋友兼當時貝爾實驗室的光化學家，介紹 Ashkin 先生給我們認識)、Ashkin、三澤、喜多村先生，1990 年笹木先生攝。擷取自「微化學」(化學同人，1993 年)