

聚焦型之方向性表面電漿激發

碩士研究生：何展燁 指導教授：田仲豪 副教授

國立交通大學

光電工程研究所

摘要

在此篇論文中，我們提出一種嶄新的方法去達到可控性表面電漿激發。在同軸聚焦型 Kretschmann 架構下，將空間非勻質入射光場以高數值孔徑物鏡聚焦於金屬薄膜表面以激發金屬表面電漿，藉由設計入光瞳處空間非勻質極化光中輻射型偏極化與角偏極化分部達到近場表面電漿波的傳播方向與激發面積的操控。

利用調變遠場入射光極化分部來調變近場表面電漿的方法，不僅可以省去許多金屬表面奈米結構的設計，更能夠藉由特殊設計的入射極化光分部，在金屬表面產生各種干涉圖案，甚至能夠同時在金屬表面激發出多道獨立傳播的表面電漿波，這是過去以往文獻中所未被提出的。此方法相信對於許多表面電漿相關領域都能夠有很大的幫助。

Directional Surface Plasmon Excitation via Collinearly Tight Focus

Master student : Chan-Yeh Ho **Advisor** : Dr. Chung-Hao Tien

Department of Photonics & Institute of Electro-Optical Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

A novel method is proposed in which surface plasmon polaritons (SPPs) can be manipulated as a controllable SPPs' source from far field. The capability of beam steering and shaping can be achieved by using collinear Kretschmann configuration in conjunction with spatially inhomogeneous polarized beam which consists of radial and azimuthal polarization in specific section of pupil plane.

Without the need of additional nano-sized aperture, protrusion or near-field features, we are able to modify the SPPs excitation condition via various local electric field components mediated by the far-field pupil engineering. Various interfering phenomena are observed by different plasmonic excitation formations. Furthermore, we are able to simultaneously excite multiple SP waves which has never been demonstrated before. Proposed method will certainly has a potential impact on carrying out various SPPs excitations for plasmonic devices in next generation.

致 謝

首先要感謝指導教授 田仲豪老師兩年來不僅在研究上給予細心的指導、提供良好的研究環境，並且傳授許多在生活上的經驗及處事態度，對於我們的外語溝通能力也分外的要求，讓我能夠順利的完成我的學業及這本論文。

我還必須感謝我在實驗室一起努力的同仁。帶領我一步一步學習到畢業且給予我生活上豐富經驗的子翔學長，在實驗室教導我光路架設和實驗技巧的阿昇學長，給予許多實驗室寶貴經驗的小陸學長、健翔學長、銘進學長、璧如學姊等。也要感謝陪伴著我，跟我一起努力撐到畢業的好同伴小夫、筱儒，和陪我聊天玩樂的王奕智(小 YC)、宗瑋、貢丸、董爺，你們的支持幫助著我順利走下去。同時也要感謝我的學弟議寬、杰恩和銘佐讓實驗室充滿愉悅且清新的氣氛。

最後，我要感謝我的家人，感謝你們從小的栽培及照顧，讓我無後顧之憂的專心於研究並且鼓勵著我，還有我的好朋友們，在我心情沮喪時，能夠陪我聊天解悶，有你們一直相信我，才讓我能順利完成碩士學業。在此，願將這喜悅和我身邊的大家分享。

目 錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	v
❖ Chapter 1 序論.....	1
❖ Chapter 2 表面電漿基本理論.....	5
2-1 表面電漿子的歷史與原理.....	5
2-2 表面電漿子的激發方法.....	16
2-3 空間非勻質極化光.....	23
❖ Chapter 3 方向性表面電漿激發.....	29
3-1 光學架構.....	29
3-2 表面電漿物理模型.....	37
3-3 模擬與討論.....	42
3-4 可控方向性與激發面積之表面電漿.....	45
❖ Chapter 4 自相性表面電漿干涉.....	44
4-1 基本干涉理論.....	44
4-2 表面電漿干涉模型討論.....	51
4-3 自相性表面電漿干涉.....	46
❖ Chapter 5 總結與未來展望.....	57
參考文獻.....	59

圖目錄

圖 2-1 電荷密度在金屬表面上發生集體式電偶極振盪電場分量示意圖。...	6
圖 2-2 表面電漿在可見光區與近紅外光區的傳播特性長度等級。...	11
圖 2-3 描述表面電漿子模態之電子團分部與電場分部關係。...	11
圖 2-4 外加電場作用下，杜德模型之金屬自由電子運動示意圖。...	13
圖 2-5 以帶電粒子加速撞擊金屬薄膜後其帶電粒子能量變化圖。...	16
圖 2-6 紅色曲線為空氣-銀介面處的散色曲線；藍色曲線為空氣中光的散色曲線。...	17
圖 2-7 (a)全反射式表面電漿激發架構。左:Otto 架構。右:Kretschmann 架構。...	17
圖 2-8 銀薄膜的散色曲線($d=50$ nm)，M-D 曲線可以拆解為兩個模態 w^+ 以及 w^- 。...	18
圖 2-9 金屬表面電漿共振的高頻以及低頻模態。...	19
圖 2-10 以光柵耦合方式激發表面電漿架構。代表光源的直線因為光柵向量的關係會往右位移至較高 k_x 。...	20
圖 2-11 多層膜矩正法示意圖。...	21
圖 2-12 (a~c)矩陣法內的三種層狀結構。...	22
圖 2-13 對於不同結構的穿透與反射係數。...	22
圖 2-14 (a)和(b)代表空間勻質極化光與空間非勻質極化光。...	23
圖 2-15 徑向極化光強度分部圖以及聚焦光點場形。...	24
圖 2-16 入光瞳處的偏極化場形分部。...	25
圖 2-17 藉由 X 方向線性偏極化的 HG_{10} 模態和 Y 方向線性偏極化 HG_{01} 模態合成輻射型偏極化光場。...	26
圖 2-18 藉由 Y 方向線性偏極化的 HG_{10} 模態和 X 方向線性偏極化 HG_{01} 模態合成角偏極化光場。...	27
圖 2-19 藉由左手圓形偏極化的 LG_{01} 模態和右手圓形偏極化 LG_{0-1} 模態合成輻射型偏極化光場。...	28
圖 2-20 藉由右手圓形偏極化的 LG_{01} 模態和左手圓形偏極化 LG_{0-1} 模態合成角偏極化光場。...	28
圖 3-1 同軸型徑向極化光聚焦之表面電漿激發系統實驗架構示意圖。...	29
圖 3-2 (a) 表面電漿激發角度與入射光波長關係圖。藍線: 金, 紅線: 銀。金與銀的臨界激發波長分別為 520 nm 和 370 nm。(b) 金在不同波長下的穿透係數。(c) 表面電漿散色曲線。...	30

圖 3-3 (a) Kretshmenn 架構示意圖。(b) 和 (c) 為穿透係數與入射角度關係圖。...	31
圖 3-4 (a)外加一層介電層 n_3 的 Kretshmenn 架構圖。...	32
圖 3-5 非勻質極化光聚焦在金屬表面的 E_z 電場分部圖。...	33
圖 3-6 方向性表面電漿激發實驗光路圖。...	33
圖 3-7 液晶型偏極化轉化器基本架構。...	34
圖 3-8 掃描式近場光學顯微鏡基本操作架構。...	35
圖 3-9 (a) Solver SNOM。(b) 倒立式光學顯微鏡 Olympus IX81。...	36
圖 3-10 向量繞射理論數值模擬結果。...	38
圖 3-11 $ E_z ^2$ 在銀表面不同距離的橫向分部圖。...	39
圖 3-12 兩道表面電漿波對撞干涉的模型。...	40
圖 3-13 輻射型偏極化場經物鏡聚焦後在不同焦平面之能量分布圖，呈現甜甜圈狀。...	40
圖 3-14 輻射型偏極化光場經物鏡聚焦，並隨著不同的離焦距離，導致金屬表面電漿波傳播方向的差異示意圖。...	41
圖 3-15 干涉模型示意圖。...	41
圖 3-16 表面電漿電場振幅分部圖。...	44
圖 3-17 表面電漿干涉電場振幅分部圖。...	45
圖 3-18 SNOM 掃描到的方向性表面電漿場分。...	45
圖 3-20 比較 FDTD 模擬與近場量測結果之縱向剖面圖。...	47
圖 3-21 利用入射光極化分部設計在離焦的情況下同時產生兩道表面電漿波往外傳播。...	48
圖 3-22 利用入射光極化分部設計在離焦的情況下同時產生三道表面電漿波往外傳播。...	48
圖 4-1 雙狹縫光干涉示意圖。...	49
圖 4-2 45 度表面電漿對撞激發的 FDTD 模擬圖以及不同環形半徑下以本模型所得到的電場強度分部圖。...	52
圖 4-3 15 度與 30 度表面電漿對撞激發的 FDTD 模擬圖與本模型所得到的電場強度分部圖，及其橫向剖面圖。...	53
圖 4-4 分別比較本模型與 FDTD 在不同角度大小的輻射型偏極化下所造成的表面電漿干涉橫向剖面圖。...	53
圖 4-5 15 度輻射型偏極化光場聚焦於金屬表面產生之表面電漿干涉圖。...	54
圖 4-6 45 度輻射型偏極化光場聚焦於金屬表面產生之表面電漿干涉圖。...	55
圖 4-7 75 度輻射型偏極化光場聚焦於金屬表面產生之表面電漿干涉圖。...	55
圖 4-8 設計入射光極化分布如左上角之示意圖，在金屬表面產生兩道表面電漿波往中心傳播的自相性表面電漿又狀干涉圖形。...	56
圖 4-9 設計入射光極化分布如左上角之示意圖，在金屬表面產生三道表面電漿波	

往中心傳播的自相性表面電漿蜂巢狀干涉圖形。... .. 56

圖 5-1 在入光瞳處設計三瓣輻射型偏極化光場，在金屬表面可產生三道往不同方向傳播的表面電漿。... ..58

圖 5-2 兩道 45 度輻射型偏極化光場產生於金屬表面之兩道表面電漿干涉。表面電漿干涉應用於微影製程。... ..58

