

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

超快掃描探針式顯微術及其應用之研究

Ultrafast scanning probe microscopes and applications

計畫編號：NSC 88-2215-E-009-014

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：潘犀靈 國立交通大學光電工程研究所

一、中文摘要

本年度計畫成果摘要包括下列幾項：

1. 以飛秒近場光學顯微鏡量測 GaAsP 二極體中雙光子吸收致光電流分佈

我們架設了一台飛秒級的近場光學顯微鏡。在此系統中我們利用一組平行光柵對補償光纖探針與其他光學元件之 GVD 有時間解析度約為 90fs。我們也報導利用此系統量測 GaAsP 光二極體特性的初步結果。

2. 以飛秒近場光學顯微鏡量測 GaAsP 二極體中雙光子吸收致光電流分佈

利我們架設一套可量測低信號的光子計數器，並將此光子計數器與近場光學顯微鏡結合做近場二倍頻的量測工具。

遠場二倍頻量測中，我們利用光子計數器系統組成掃描式二倍頻顯微鏡，在氮化鎵量測中發現有大小亮度不同的四面體與六面體影像，而在顯微鏡與電子耦合元件的二倍頻量測系統中，我們可量測氮化鎵同一位置的光影像圖與不同偏振的二倍頻影像圖，在不同為置有與偏振相關和與偏振無關的情形這與晶軸方向和厚度大小有關。近場二倍頻量測中，我們利用近場光學顯微鏡量測高非線性效益的 BBO 晶體，在二倍頻影像圖中可發現由高低不同造成的明亮區域。

關鍵詞：近場(Near-field)、近場掃描式光學顯微鏡(NSOM)、光柵對(Grating-pair)、氮化鎵(GaN)、光子記數(Photo-counting)、二倍頻影像(Second-harmonic

image)

Abstract

The abstract of this project report contain those items as following:

1. We construct a NSOM system with the Femtosecond Ti-Sapphire Laser. As a first application in our lab, we characterize the photodiodes by two-photon induced photocurrent.

To compensate the dispersion for pulses propagating in 2m long fiber used in NSOM system and introduced by other optical components, we construct a grating pair pre-compensation system to compress the broadening pulses width 3.21ps back to 90fs.

The GaAsP photodiode whose energy band gap is about 1.81eV can be excited to induced current for such laser photon energy about 1.53eV. Using the NSOM system, we have performed preliminary experiment on two-photon photocurrent response in 10 μ m*10 μ m area in our device. The same measurement is also conducted in far-field. The capability of the Near-field femtosecond two-photon-induced photocurrent system is established.

2. We have constructed a photo counting system to investigate lower optical signal, and combined photo counting system with near-field scanning optical microscope (NSOM) for researching near-field second harmonic images.

In far-field, we have used photo counting

system to set up a scanning second harmonic microscope. In this system, we investigated GaN and find some cubic and hexagonal second harmonic images which are different size and brightness. In another system, we combined charge coupled devices with optical microscope. We can use this system to take optical images and different polarization of second harmonic images at the same position. The different position GaN induced different situations of second harmonic images which are classified by polarization.

In near-field, we used near-field scanning second harmonic microscope to investigate high efficiency of nonlinear crystal (BBO). Simultaneous measurement of the topographic map and second harmonic image allow us to understand the relation between the bright areas and thickness.

Keywords: saturable Bragg reflector (SBR), strained saturable Bragg reflector (SSBR), low saturation intensity, THz-radiation, magnetic field, High-average-power, mode lock, Ti:sapphire laser, intracavity continuous wave amplifier, Tapered semiconductor optical amplifier, Chirping, GVD, As-implanted GaAs, resonantly-driven, gain-switched FP laser diode, photomixing, dipole antenna,

二、內容

1. 以飛秒近場光學顯微鏡量測 GaAsP 二極體中雙光子吸收致光電流分佈

緣由與目的

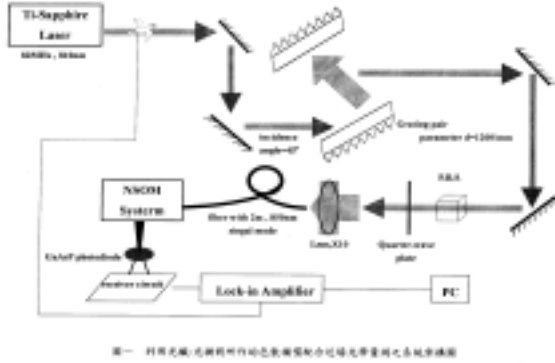
近場光學顯微鏡不但擁有遠比傳統光學顯微鏡還高的光學解析度，且由於所使用的光纖探針其孔徑約只有幾百奈米的尺度，故其空間解析度應用在掃描諸如半導體材料表面時也有相當好的表現，且由於光纖的導光特性使得進場光學顯微鏡不只可以得到材料表面的高低起伏構造，更可以藉由激光或收光特性而進一步知道相關的光學訊息。

結果與討論

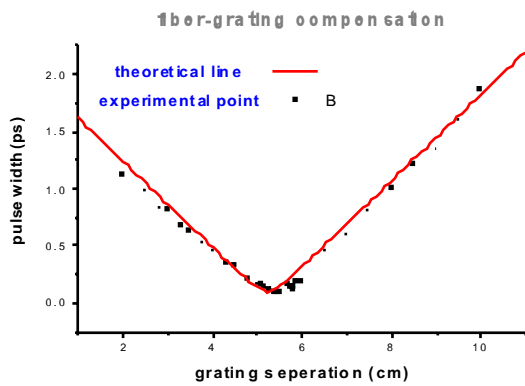
我們結合鈦藍寶石雷射與近場光學顯微鏡，架設了一台時間解析度為飛秒級的近場光學顯微鏡（圖一）。為補償由系統中光纖與光學元件之 GVD 所造成時間解析度的損失，我們利用一組平行的光柵對（ $d=1200$ 條/mm），在雷射光耦合進入 2m 長之光纖前以負的色散量來補場光學元件之正色散，並使光纖探針輸出端光脈衝保持在 90fs 的時間解析度，圖二即光脈衝寬度與光柵間距之關係圖。

我們利用此台飛秒級的近場光學顯微鏡之其高時間及空間解析度的特性，研究 GaAsP 光偵測器中的雙光子吸收光致電流（GaAsP 之能量間隙為 1.82eV，而鈦藍寶石雷射輸出波長約為 800nm（1.53eV））分佈（TPIC）。圖三、圖四分別是以二極體之表面 AFM 與 TPIC 圖像，表面高低圖中相對較低處痕跡有較高的光電流響應。可能解釋是外界造成的缺陷會在其處形成電子深捕捉能階而使電子電洞再其處的躍遷機率大增，使得產生的光電流響應較其處高；而對雜質附著於上產生較低光電流響應之解釋則可以認定是光射在此雜質上會不被吸收或吸收而發散掉，導致光電流訊號變小；但我們可以很明顯的看出在右下角表面圖像無明顯的變化，而光電流圖像則有一很明顯特別亮的區域，大小約為 $1\mu\text{m}\times 1\mu\text{m}$ ，此處的解釋可能是因為材料內部的能階分佈不均，可能有 deep level 分佈其內導致單光子就能被吸收而致光電流，此單光子吸收的躍遷機率遠大於

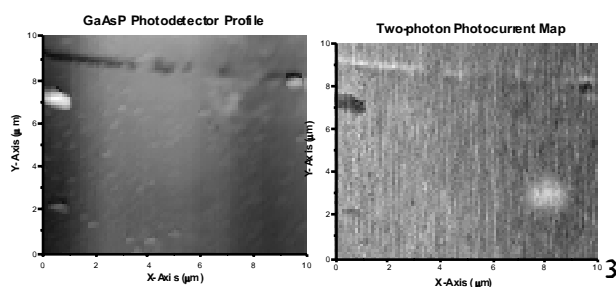
雙光子吸收故有較高的光電流訊號不同的光功率，相同位置上的光電流隨光功率降低而明顯下降，具相同現象的位置之重複率也很高，與近場影像的對應上，也顯示此系統的可行性。



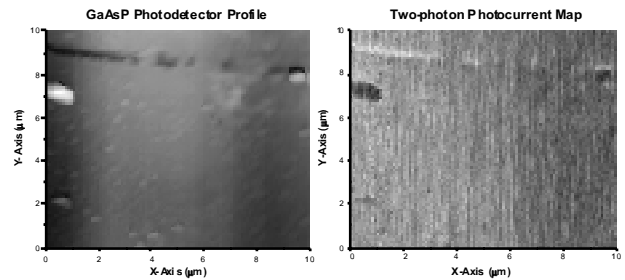
圖一. 利用利用光纖對所作的色散補償配合近場光學量測之系統架構圖



圖二. 光纖-光柵對的色散補償，以總色散對應的脈衝寬。



圖三. 場顯微鏡掃描 $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ 範圍之 GaAsP 表面與光電流圖像 ;入射光條件 : optical average power $\approx 0.9\text{mW}$



圖四. 近場顯微鏡掃描 $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ 範圍之 GaAsP 表面與光電流圖像 ;入射光條件 : optical average power $\approx 0.2\text{mW}$

2. 利用內腔連續波放大器與扭曲式飽和布拉格反射體之高平均功率飛秒級鎖模鈦藍寶石雷射

緣由與目的

二階非線性光學是種高效率，非接觸性的量測技術，它對於物質表面的對稱性與有序度有極高的靈敏度(可達原子數量級)，所以我們可利用此技術來量測一些材料或元件的特性，如：單一薄膜分子的排列情況，金屬表面的平整度，或用在記憶上的鐵電、磁電材料受

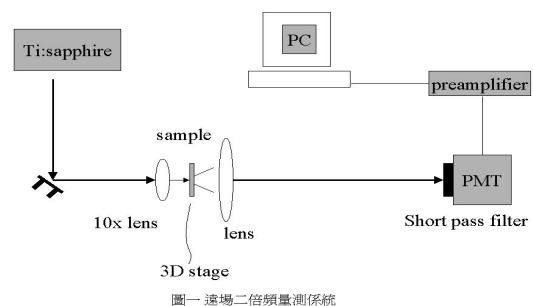
極化後的磁矩，電矩分佈情形。在傳統實驗方法是利用二倍頻顯微鏡(光學顯微鏡加上電子偶和元件)或掃描式二倍頻顯微鏡，來探測光的二倍頻信號，但由於受光學繞射極限的影響，所收集到的倍頻信號，響應已受到平均、並不能真實反應原始的信

訊，在空間解析度上也比掃描式探針顯微鏡差，而影響對物質分析的可靠度。本論文的動機是結合二階非線性光學的技术與近場光學顯微術的優點(克服繞射極限與較高空間解析度)來取得較小範圍且較為真實的光學訊息。在基頻光源中我們利用較高重覆頻率和較短光脈衝的鈦藍寶石雷射，它的短脈衝可達到我們產生倍頻的峰值能量而高重覆率可增加近場光學顯微鏡的收光效益。

結果與討論

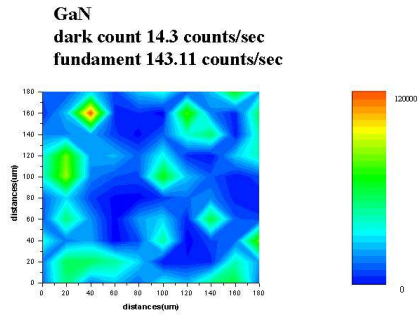
我們將光子計數器與近場光學顯微術系統結合，做為非線性光學中二倍頻信號的量測,在光子計數器的建立與量測中我們以氮化鎵和水晶做為待測物體，利用鈦藍寶石雷射做為激發光源(脈衝寬 100~150fs，平均功率 360~500mW，重複頻率 82×10^6 Hz)先將水晶與氮化鎵的能量與倍頻信號光子數(power dependent)量出，發現倍頻信號和輸出能量成二次曲線的關係以確定是量測到倍頻的信號，再利用三維平移台做氮化鎵的量測(圖一)，取得在 180 微米乘 180 微米面積內的倍頻影像圖(圖二)，而由於晶軸方向，折射率或厚度的不同可能造成不同區域有不同大小的明暗區塊。在近場光學顯微鏡和光子計數器結合的實驗中我們對 0.8 微米單模光纖，纖核 5 微米，光纖半徑 125 微米做量測，在量測所得的結果中，我們可測得光纖表面的平整度，高低起伏約 110.7 奈米，光影像圖中暗光子數約每秒 2000 個，最大信號每秒約 1.3×10^6 個，信號雜訊比約 650 而原先用鎖相放大器量測信號雜訊比約 200，已經將信號雜訊比提昇，而在量測結果中光纖近場的光點大小約 7.705 微米與先前學做的實驗時相近(圖三)，證明此系統在量測上無問題。在近場的倍頻實驗中(圖四),我們量測信號較大的 4mm 厚度的 BBO 非線性晶體，使用鈦藍寶石雷射做為激發光源，將非線性晶體調整至產生強度較佳的藍光訊號，再由

近場光學顯微鏡量測光影像圖與表面圖，在量測的光影像圖中(圖五)，信號與雜訊比約 11 倍，為了提高信噪比我們將輸入的雷射光由原先的 257mW 提昇至 478mW，雖然信噪比提昇至 255，但由於激發光源的提昇使偵測回饋信號的偵測器飽和致無法控制在近場範圍，我們將探針迫近在近場後，掃描物體表面，在拉至 3 微米高使用同一高度的量測(constant height)，無論在近場或同一高度的量測中我們皆發現在明暗不同的區域，這情況有可能是因為我們將倍頻信號調至最佳化，而二倍頻信號強度與晶體角度(長度)有關聯性，如同 Maker Fringes 在不同角度(長度)對應倍頻強度有一高低起伏的變化，而在倍頻信號最大處就是在 Maker Fringes 圖的峰值，對於厚度的改變就會有信號強弱的變化(從高至低或從低至高皆有)。



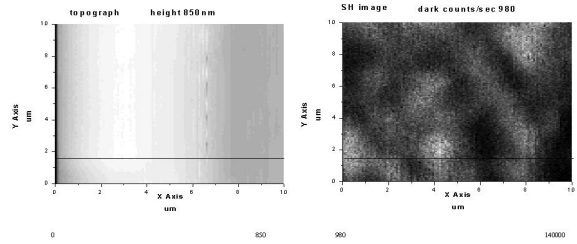
圖一. 遠場二倍頻量測系統

圖一. 遠場二倍頻量測系統。



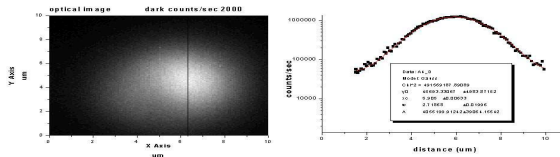
圖二 氮化鎵二倍頻影像圖

圖二、氮化鎵二倍頻影像圖。



圖五 BBO 表面與光影像圖

圖五. BBO 表面與光影像圖



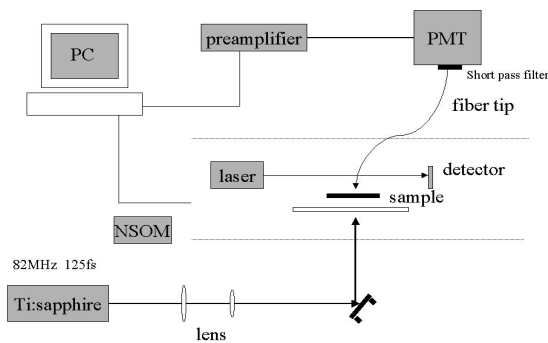
圖三 光纖光學影像截面圖

圖三. 光纖光學影像截面

三、參考文獻

References

1. Wolfgang Schade, David L. Osborn, Jan Preusser, Stephen R. Leone, "Two-color cross-correlation of fs-laser pulses by two-photon induced photoconductivity for near and far-field optical measurements," Optics Comm. 150, p27-32, (1998).
2. Wolfgang Schade, Jan Preusser, David L. Osborn, Yin Yu Lee, Joost deGouw, Stephin R. Leone, "Spatially resolved femtosecond time correlation measurements on a GaAsP photodiode," Optics Comm. 162, p200-204, (1999).



圖四 近場光學二倍頻量測系統

圖四.近場光學二倍頻量測系統