

台灣二〇〇五年國際科學展覽會

科 別：物理

作品名稱：光速的測定

得獎獎項：大會獎佳作

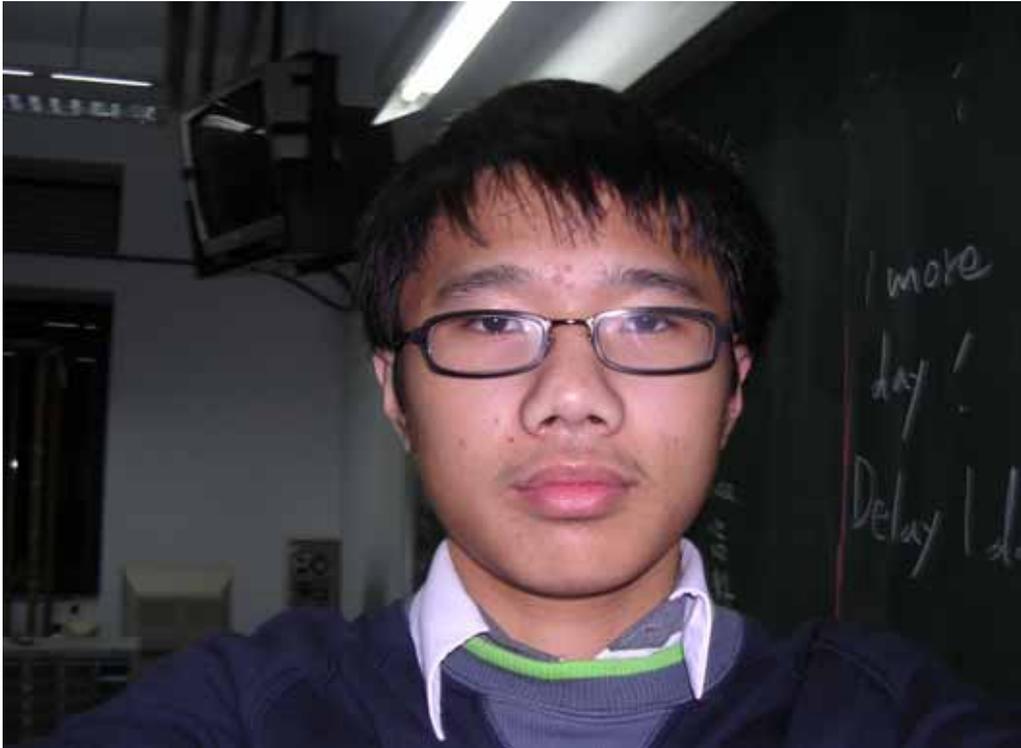
學 校：臺北市立麗山高級中學

作 者：黃俊琦、李柏南

評語與建議事項：

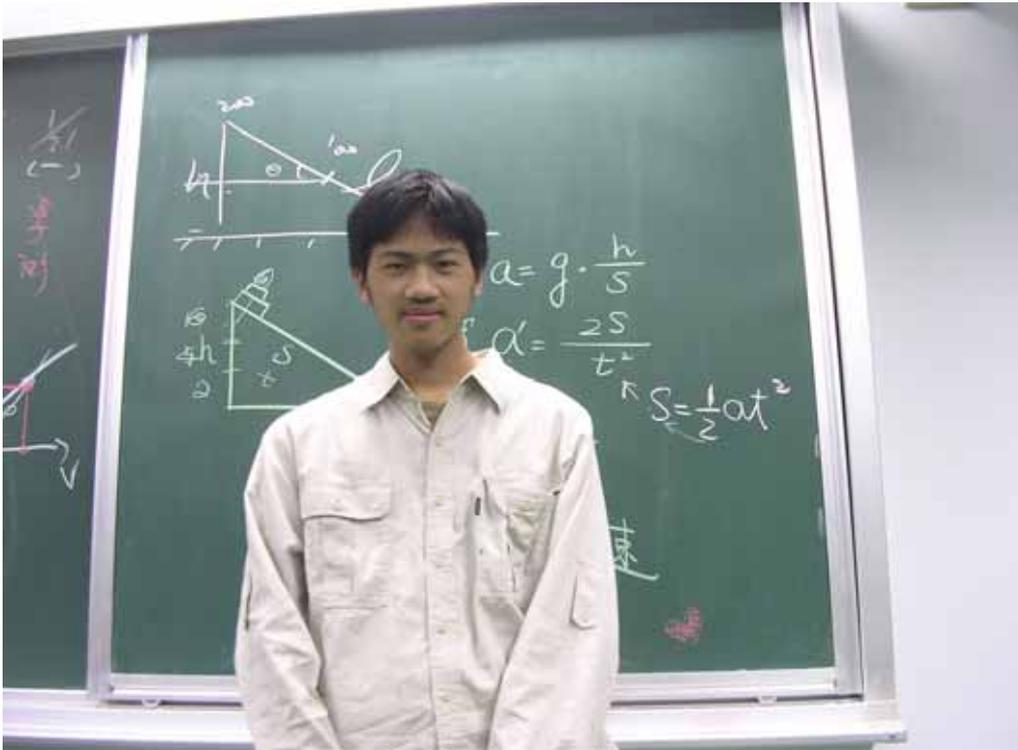
利用光源與偵測器模組以及光纖未改進傳統光速測定的場地需求與精準度，是很有趣，也很特別的應用，很適合用於物理教學示範實驗，對於學生瞭解光的性質與光速測定很有幫助。

作者介紹



我是黃俊琦，來自於台北市立麗山高級中學。起初對於學校的特性並不熟悉，但是經過高一的研究方法課程，加上對於物理的先天興趣，我決定加入物理專題的行列。高二時，得到了利用光纖測量光速的實驗想法，所以就著手於此實驗的研究。希望能藉由此次展覽，跟其他縣市的優秀學生進行交流，並爭取佳績，希望教授親臨指教。

My name is Chi Huang. I come from Taipei, Taiwan. I started in the experiment research from the senior school. On the other hand, I have a passion for the exercise. It is very glad to have this chance to attend this science fair; I will make a concentrated effort.



從小就對科學以及資訊有極大的興趣，一心嚮往向此探索。國三那年選擇了麗山高中，讓我的高中生活很不一樣，。專題研究課程讓我有機會接觸與學習比別人更多的科學知識。

除了物理之外，我也對藝術與文學很有興趣。在學校我參加了校刊編輯社，現在擔任總編輯的工作；從社團之中我學到了寫作、設計的知識，也充實了管理的技巧，並且開擴我對學校、社會的關懷。

The “Project-research” course in Senior High introduced me to the great world of science. In addition to science, I am also interested in literature and music. I think I like the thing which are wonderful, they enrich my life.

摘要

壹、英文摘要

A method using optical fiber is described for measuring the velocity of light . Measuring the velocity of light usually needs a long distance and in a brief time. These experiments use optical fiber and TOSA and ROSA

貳、中文摘要

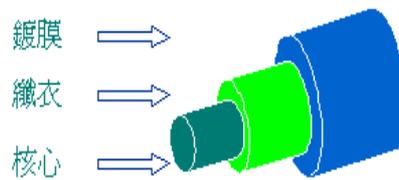
本實驗改良菲左測定光速之實驗，將原本的光路以光纖取代，並將原本的光源改為紅外光。做了上述的改良以後，可將實驗的空間及時間縮小。實驗中輸入固定頻率的紅外光載送週期性的訊號經光纖傳輸後，利用示波器觀察訊號的延遲時間，以此實驗技巧可精密計算出光速。在輸入訊號為 0.1~5MHz時，光在光纖的平均速率為 2.09×10^8 (m/s)。換算真空中光速 $c = \text{折射率 } n(1.467) \times \text{光纖中速率 } v(2.09 \times 10^8 \text{ m/s}) = 3.03 \times 10^8$ (m/s)，平均百分誤差 0.43%，平均誤差為 0.13×10^8 m/s，準確度為 99.57%。

若取最佳輸入頻率 2~3MHz所得到之數值，光在光纖的平均速率為 2.05×10^8 (m/s)。換算真空中光速 $c(3.00 \times 10^8 \text{ m/s}) = \text{折射率 } n(1.467) \times \text{光纖中速率 } v(2.05 \times 10^8 \text{ m/s})$ ，平均百分誤差為 0.33%，平均誤差為 0.01×10^8 m/s，準確度為 99.67%。

原理簡介

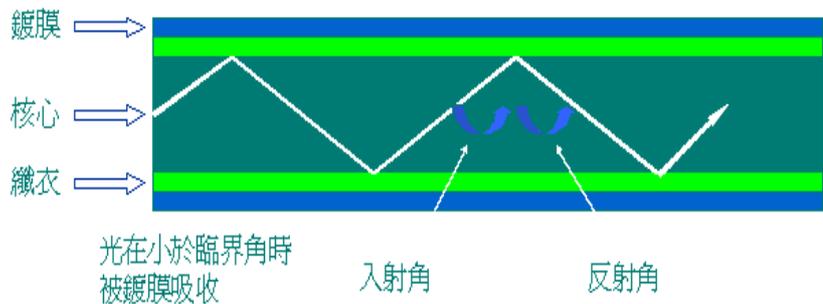
壹、光纖全反射性質

光線從末端進入光纖後，由於全反射（total internal reflection）的發生光線可沿著光纖繼續前進，達到傳送訊息的功效。光纖可分為兩類，第一類（Step index fiber）是由折射率（refractive index）高的核心（core），包裹在玻璃纖維外殼（cladding）內所製成的雙重構造物。內側的折射率大，而外側的折射率小，因此光纖折彎時，由於全反射（total internal reflection）的發生，光線沿著光纖繼續前進。這類光纖較幼，直徑約為 $125\mu\text{m}$ ，適合短距離的訊息傳送。第二類（Graded index fiber），可作長距離的訊息傳送，其折射率會隨著與光纖軸心的距離增加而減少。

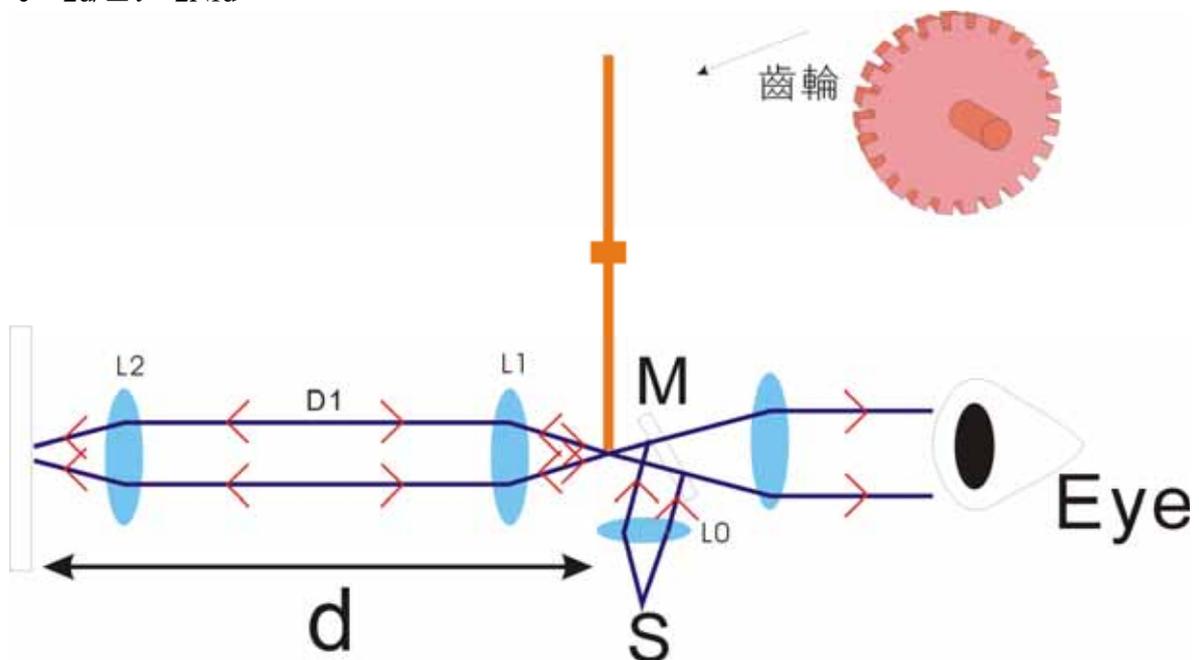


特性

- 纖衣的折射率 > 核心
- 鍍膜是撞擊的吸收體
- 光以全反射傳播



貳、菲左測定光速，光源 S 發出的光設齒輪上有 N 個齒口（缺口），且轉速是 f（每秒 f 轉），則齒輪每轉一過一個缺口的時間 $\Delta t = 1/Nf$ ；齒輪與反射鏡的距離 d，則光速 $c = 2d/\Delta t = 2Nfd$ 。



研究方法及過程

壹、研究動機

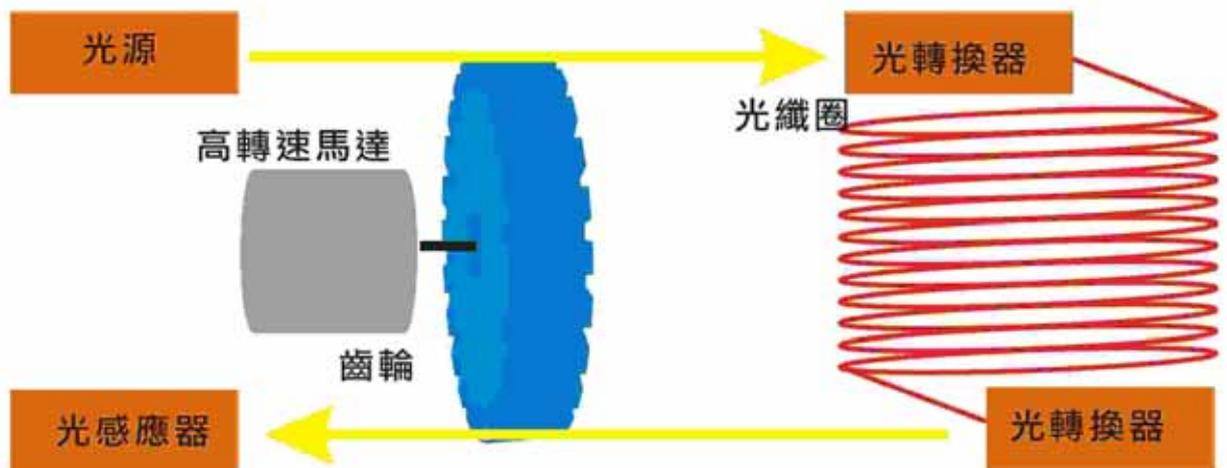
日常生活中隨處可見光的存在，光學也是物理基本領域之一。歷史上有許多學者致力於光速的追求，但是其研究器材都相當複雜、龐大，不適合在一般實驗室進行測量。因此，我們希望能以實驗室可取得的器材，著手進行光速的測定。

參、研究目的

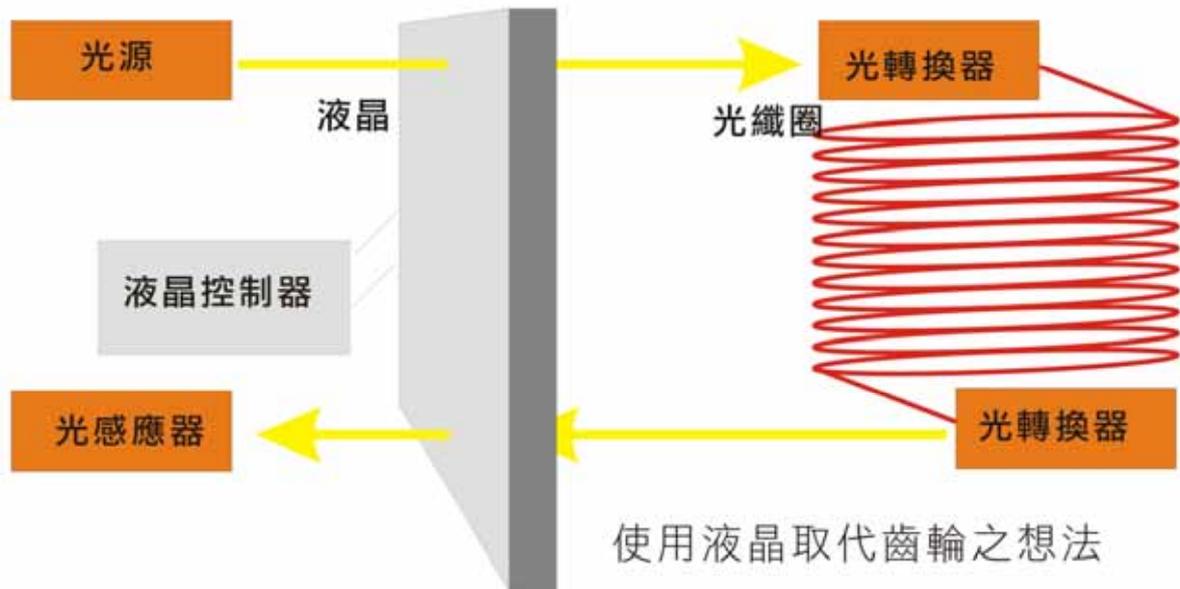
希望能以光纖改變光的行走路徑，光纖有全反射性質，可使光路隨光纖調整。利用其相關儀器，做出一套低成本高價值的光學儀器。並將實驗數據整理，對照課本的數據，證明實驗的準確性。

參、研究方法

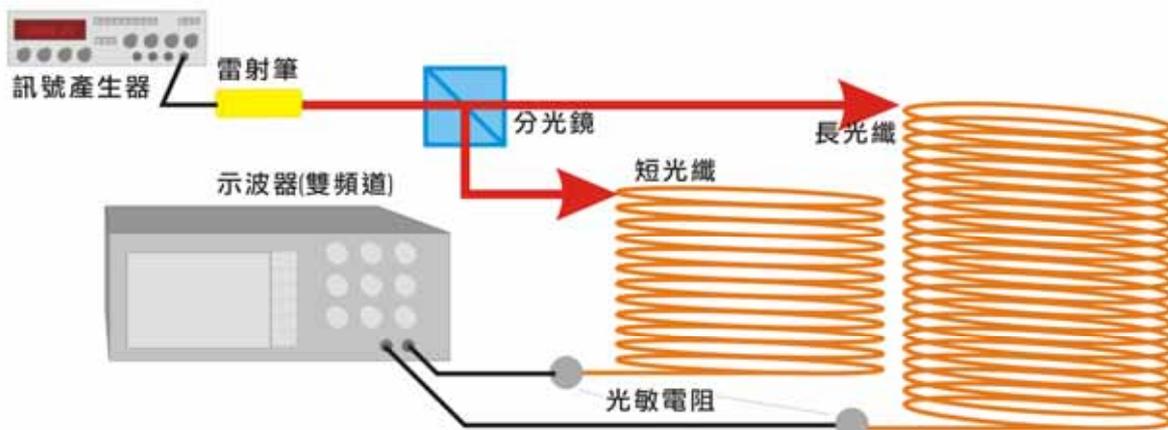
- 一、從古至今有許多光速的測定方法，如：伽利略法、隆美耳法、菲左法等…。菲左在 1849 年利用光的反射及齒輪量度時間來測定光速，雖然實驗距離達 8663m，但是已經能在地面的有限空間測量。我們決定以菲左法進行改良，著手於時間及空間的縮小。將馬達轉速及齒輪孔數增加後，仍然需要 1485m 的實驗距離。



二、1485m 的光纖對於成本實在是相當大的負荷，於是我們考慮到液晶的特性，希望以液晶取代齒輪控制時間間隔，但是經由實際了解之後發現，實驗距離不減反增，所以不採用此方法。



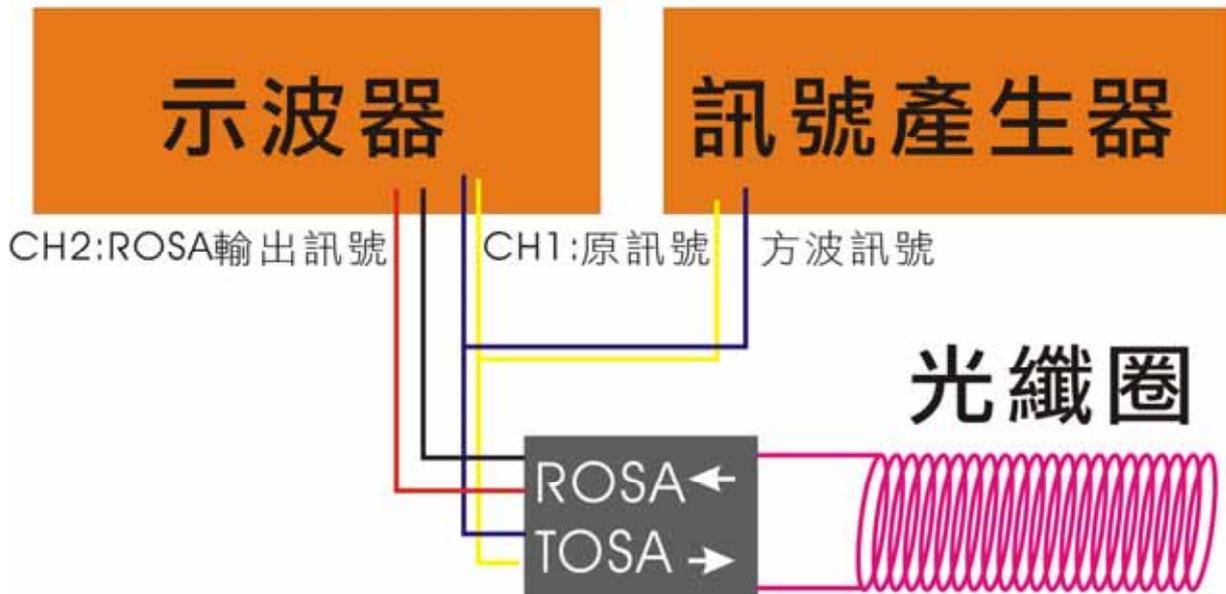
三、改以訊號產生器發送頻率，控制雷射筆以固定頻率的紅光雷射載送週期性的訊號，透過分光鏡將光分為兩道路徑，分別通過長、短光纖，再由光敏電阻接收訊號，利用示波器讀出訊號的延遲，再由延遲時間求出光速。實驗後發現光敏電阻無法跟上訊號產生器之頻率，且雷射筆發射之紅光在光纖中的衰減量太大。



以長短光纖計算延遲

四、改用 TOSA(紅外光發射器)及 ROSA(紅外光接收器)來取代光源及接收端，因為 TOSA 能直接連接到光纖路徑中，而 TOSA 所發出的紅外光訊號波長為 1310nm，在光纖中的衰減是所有光源之中最少的，可以靈敏的發射及接收紅外光。將原先兩道路徑的訊號延遲比較改為單一路徑長度改變後的訊號延遲比較，可有效減少光纖的需求長度。

使用紅外光收發模組之裝置示意圖



五、採用同軸電纜，並商借紅外光收發模組測試板，將實驗再進一步研究。

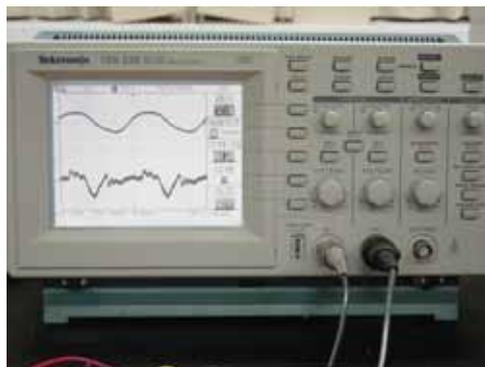


肆、研究器材與設備

- 一、直流電源供應器
- 二、數位式示波器
- 三、UPS 不斷電系統
- 四、毫安培計
- 五、訊號產生器
- 六、雷射筆
- 七、麵包板及電線
- 八、單模玻璃光纖 20 公尺三條
1 公尺一條
- 九、光敏電阻
- 十、TOSA&ROSA (紅外光收發模組)
- 十一、接線及探棒
- 十二、94 Ω 電阻、51 Ω 電阻
- 十三、筆記型電腦
- 十四、數位相機
- 十五、光纖端連接頭



電源供應器



數位示波器



單模光纖



毫安培計



訊號產生器

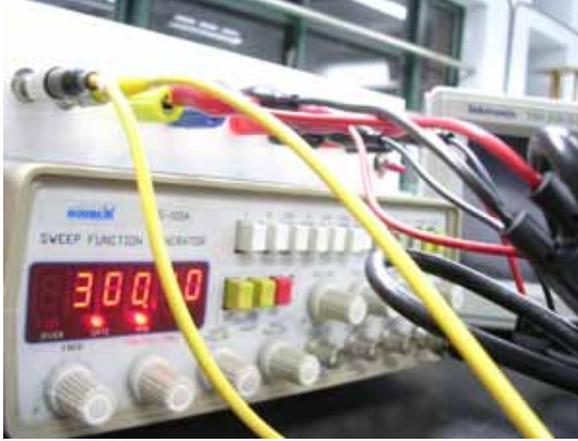


TOSA&ROSA 組件

伍、研究過程:

一、先確定電源是否供給電壓，並確定毫安培計上有電流通過和已正確接於電路上。

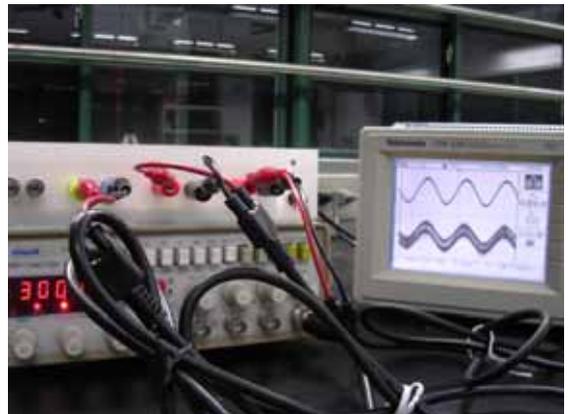
二、確定輸入端和輸出端是否接在正確位置上，並觀察示波器是否有訊號輸入與輸出。



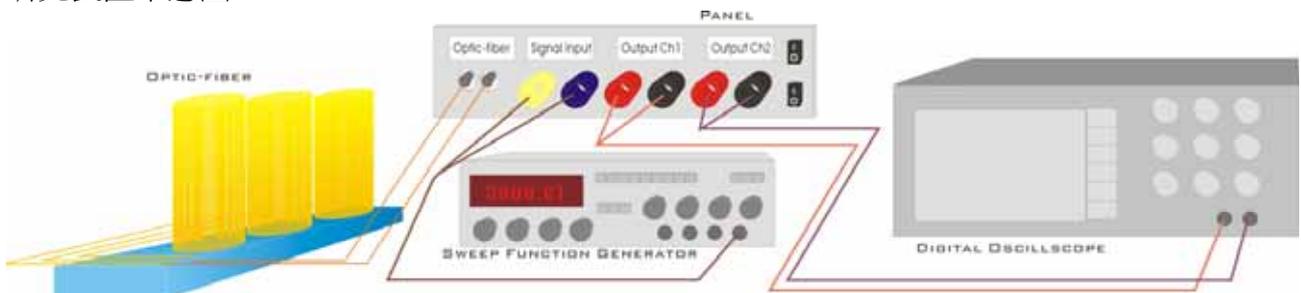
三、調整訊號產生器輸入頻率，確認訊號產生器顯示頻率與 TOSA 輸入端輸入頻率是否相同，並測量輸入端訊號及輸出端訊號之時間差，且用數位相機拍下其圖形。

四、調整訊號產生器頻率，改變不同光纖長度，量測參考訊號在不同光纖路徑與 ROSA 訊號之時間差。

五、數據處理利用軟體 EXCEL 將求出之數載入表格，製作出 XY 曲線圖，利用一次回歸線求出斜率即為光在光纖中之速度，再利用公式將光纖中的速度 v 光速乘以折射率 n 及求出光速 c 。



研究裝置示意圖



研究結果及討論

壹、研究結果

- 一、電路配置完成，將輸入端和輸出端交叉測試，確認訊號為紅外光發射器所輸入之訊號。
- 二、輸入或輸出若一端未接在正確位置，訊號為不穩定之波形，若輸入端及輸出端皆在正確位置上，訊號為穩定波形。用數位相機拍下示波器圖形，利用繪圖軟體顯示像素方式計算輸入端訊號及輸出端訊號的時間差。
- 三、開始測量數據，藉著改變光纖長度和訊號產生器頻率，觀察其波形變化量測其時間差，計算並製作出各頻率長度時間變化圖及其 XY 曲線圖。利用公式求出光速。

實驗數據與計算結果總表

F(MHz)	L(m)	ΔT (ns)	V(m/s)	C(m/s)
0.1 MHz	1.00	0	1.8×10^8	2.6×10^8
	21.00	130		
	41.00	220		
0.5 MHz	1.00	0	2.1×10^8	3.0×10^8
	21.00	100		
	41.00	200		
	61.00	290		
0.9 MHz	1.00	0	2.17×10^8	3.18×10^8
	21.00	100		
	41.00	205		
	61.00	270		
1 MHz	1.00	0	2.24×10^8	3.29×10^8
	21.00	95		
	41.00	135		
	61.00	275		
1.5 MHz	1.00	0	2.11×10^8	3.10×10^8
	21.00	86		
	41.00	180		
	61.00	284		
2 MHz	1.00	0	2.06×10^8	3.02×10^8
	21.00	95		
	41.00	195		
	61.00	295		
2.5 MHz	1.00	0	2.04×10^8	2.99×10^8
	21.00	106		
	41.00	200		
	61.00	296		
3 MHz	1.00	0	2.05×10^8	3.00×10^8
	21.00	82		
	41.00	184		
	61.00	280		
4MHz	1.00	0	2.13×10^8	3.12×10^8
	21.00	95	2.00×10^8	2.90×10^8
	41.00	0		
	61.00	100		
5MHz	1.00	0.0	1.98×10^8	3.04×10^8
	41.00	202	2.13×10^8	3.12×10^8
	21.00	0		
	61.00	188		
頻率範圍		0.1~5MHz	0.9~5MHz	2~3MHz
V(m/s)平均值		2.09×10^8	2.091×10^8	2.05×10^8
c(m/s)平均值		3.04×10^8	3.067×10^8	3.01×10^8
V(m/s)標準差		$\pm 0.03 \times 10^8$	$\pm 0.080 \times 10^8$	$\pm 0.01 \times 10^8$
c(m/s)標準差		$\pm 0.06 \times 10^8$	$\pm 0.119 \times 10^8$	$\pm 0.02 \times 10^8$

單位:m/s

貳、討論

- 一、我們發現輸入訊號在 2.5MHz 附近時，示波器所顯現的波形較穩定，光所經的長度與時間圖成一次方正比，所計算後的光速較接近理論值 2.997×10^8 (m/s)。
- 二、高頻部分(4MHz~5MHz)，當改變光纖長度時，從訊號產生器發出的波形(方波)不穩定，此頻率接近訊號產生器的極限(5MHz)，從訊號產生器輸入至光纖的波形可能非方波，而影響從光纖輸出的訊號。
- 三、低頻部分(1MHz 以下)，路徑長與時間差已非線性變化，計算出的光速已明顯變大。實驗在 0.01MHz 時，已無法讀到訊號。1MHz 為 ROSA(紅外光接收器)規格上可接收到的最低頻率。
- 四、若取最佳輸入頻率 2~3MHz 所得到之數值，光在光纖的平均速率為 2.05×10^8 (m/s)。換算真空中光速 $c(3.00 \times 10^8 \text{ m/s}) = \text{折射率}n(1.467) \times \text{光纖中速率}v(2.05 \times 10^8 \text{ m/s})$ ，平均百分誤差為 0.33%，平均誤差為 $0.01 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，準確度為 99.67%。
- 五、在使用同軸電纜後，重新進行實驗。發現在 0.5MHz 時， c 已偏離平均值，故不採入計算。所求出光在光纖的平均速率為 2.033×10^8 (m/s)。換算真空中光速 $c(2.983 \times 10^8 \text{ m/s}) = \text{折射率}n(1.467) \times \text{光纖中速率}v(2.03 \times 10^8 \text{ m/s})$ ，平均百分誤差為 1.68%，平均誤差為 $0.036 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，準確度為 98.32%。

參、結論:

- 一、光在光纖的平均速率為 2.09×10^8 (m/s)。換算真空中光速 $c = \text{折射率}n(1.467) \times \text{光纖中速率}v(2.09 \times 10^8 \text{ m/s}) = 3.03 \times 10^8$ (m/s)，平均百分誤差 0.43%，平均誤差為 $0.130 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，準確度為 99.57%。
- 二、若取最佳輸入頻率 2~3MHz 所得到之數值，光在光纖的平均速率為 2.05×10^8 (m/s)。換算真空中光速 $c(3.00 \times 10^8 \text{ m/s}) = \text{折射率}n(1.467) \times \text{光纖中速率}v(2.05 \times 10^8 \text{ m/s})$ ，平均百分誤差為 0.33%，平均誤差為 $0.01 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，準確度為 99.67%。
- 三、使用同軸電纜後，求出光在光纖的平均速率為 2.033×10^8 (m/s)。換算真空中光速 $c(2.983 \times 10^8 \text{ m/s}) = \text{折射率}n(1.467) \times \text{光纖中速率}v(2.03 \times 10^8 \text{ m/s})$ ，平均百分誤差為 1.68%，平均誤差為 $0.036 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，準確度為 98.32%。

肆、未來展望:

- 一、希望利用相關實驗器材，進行測量物質折射率之實驗。
- 二、希望利用相關實驗器材，研發器材進行測量物體震動之軌跡圖。

伍、參考文獻:

- 一、王先鎔譯，Francis A. Jenkns & Harvey E. White，”光學原理”，正中書局，1967。
- 二、陳德請 等，”數位信號處理實務入門”，高利出版社。
- 三、國立交通大學物理教學組，’ ’ 國立交通大學普通物理講義’ ’，P92~P104。
- 四、管傑雄 等，’ ’ 物理(下)’ ’，三民書局。
- 五、譚繼山編譯，”雷射與光纖通信”，亞太出版社，1985。
- 六、E. Gülmez Received 8 February 1996; accepted 5 December 1996 Measuring the speed of light with a fiber optic kit: An undergraduate experiment。
- 七、<http://bwc.hkcampus.net>

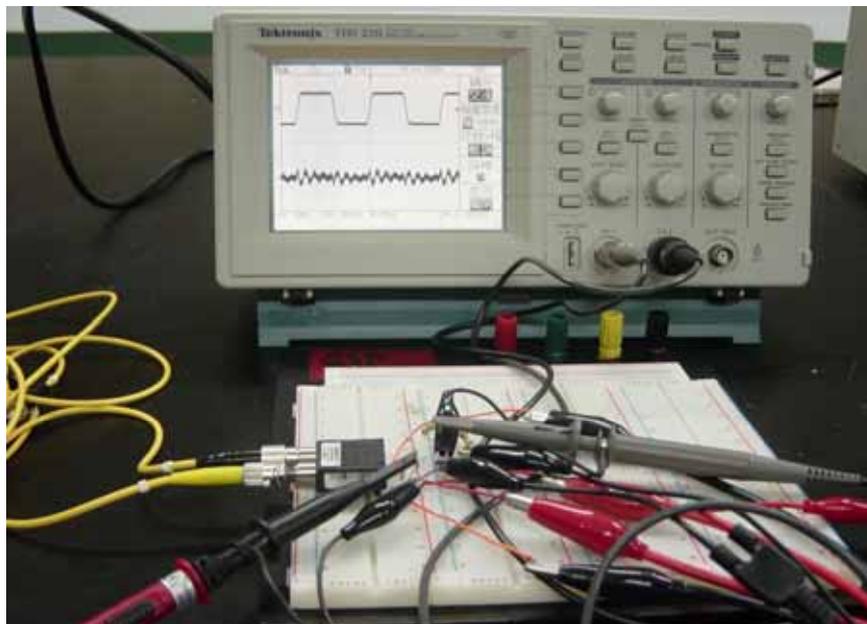
網路資料

- (一)<http://cslin.auto.fcu.edu.tw/eduteach/optic1/> 光纖通信與光速測定實驗
- (二)<http://www.sanoc.com.tw/pdf/WO/1315-30APO-Series.pdf> TOSA、ROSA 說明書

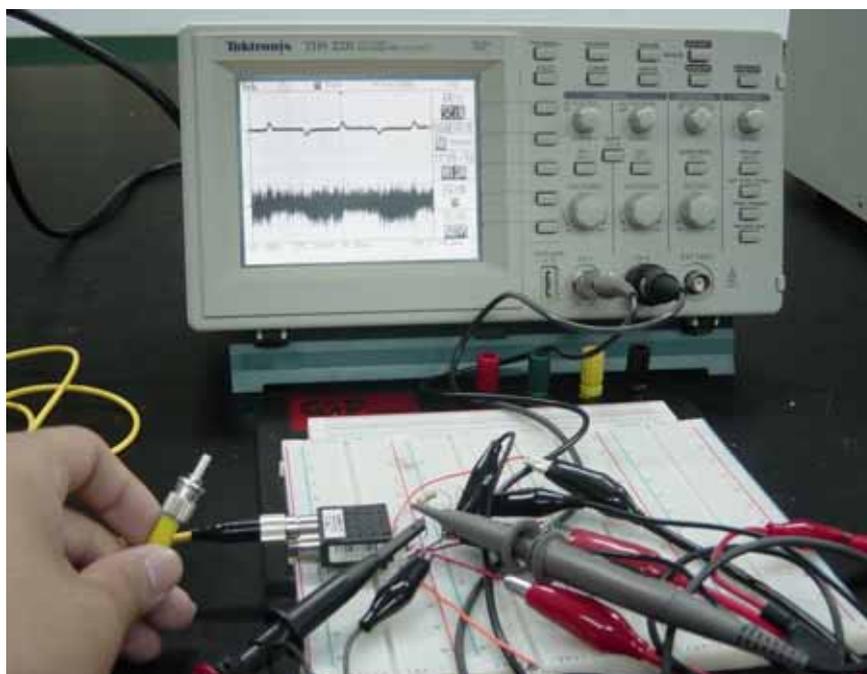
陸、特別感謝:

- 一、感謝”聖威光電公司”對於紅外光收發模組器材及相關知識的提供及指導。
- 二、感謝”巨錕公司”對於光纖及相關知識的提供及指導。
- 三、感謝本校物理科教師於實驗期間的指導。

附件



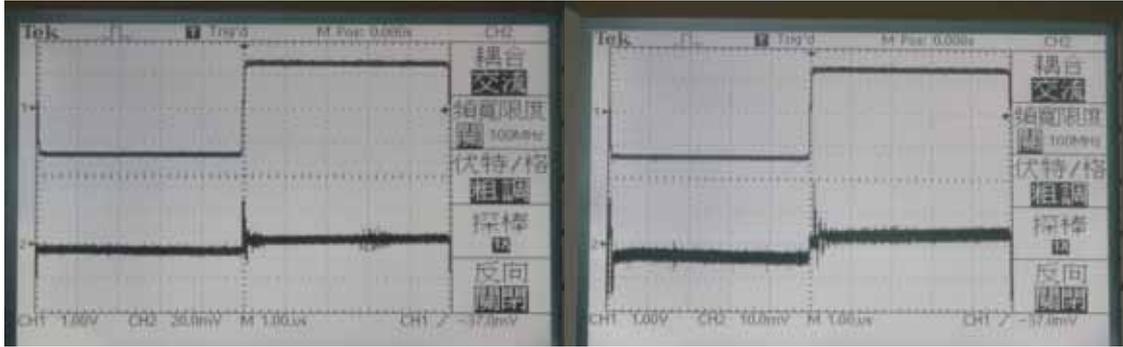
輸入端及輸出端皆在正確位置上，訊號為穩定波形。



若一端未接在正確位置，訊號為不穩定之波形。

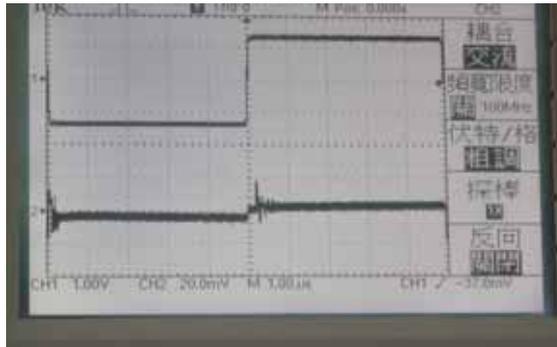
各次實驗之數據、圖片及圖表

F(頻率) : 0.1MHz n(光纖折射率) : 1.467



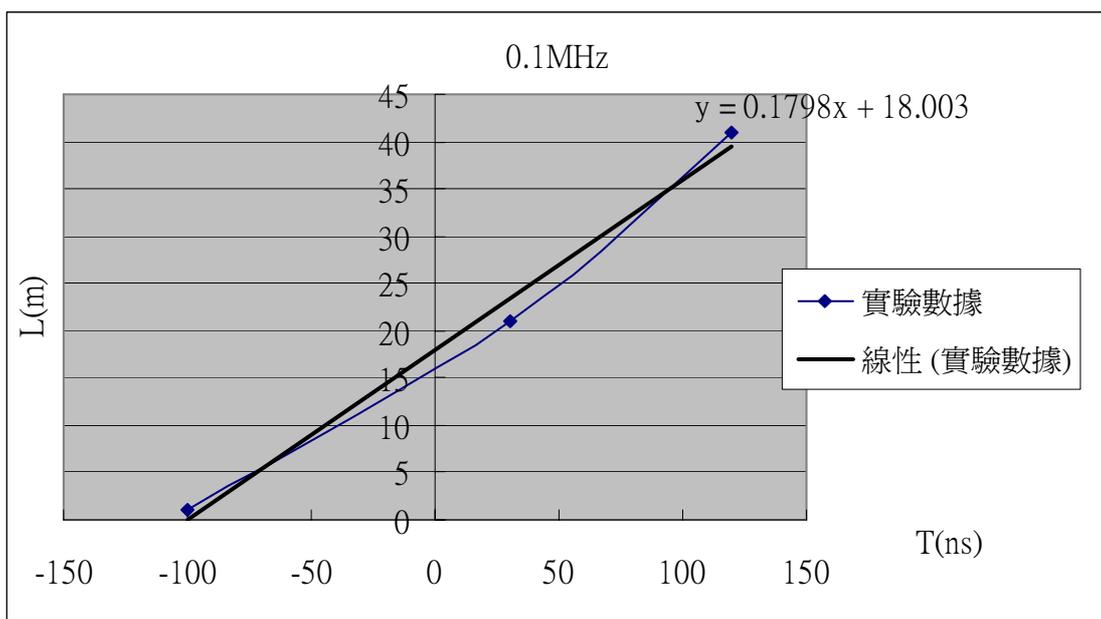
L(公尺) : 1m

L(公尺) : 21m

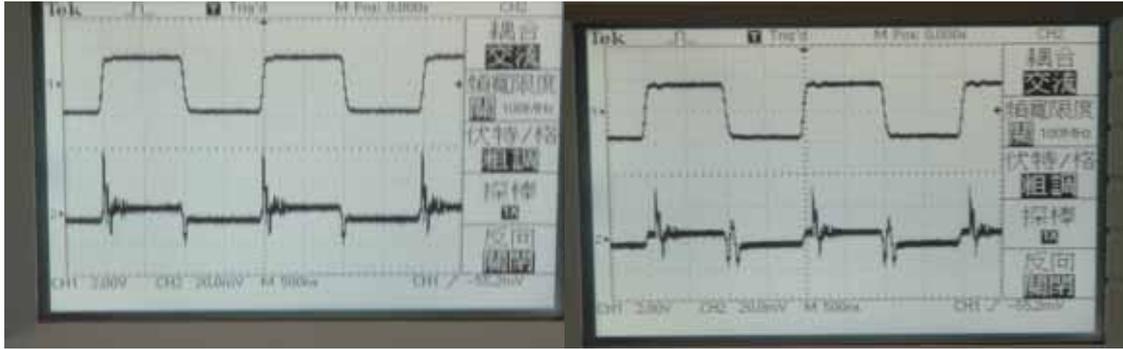


L(公尺) : 41m

L 光纖長度(m)	T 初(1.00 μ s)	T 末(1.00 μ s)	Δ T(1.00 μ s)
1.00	-0.1	-0.1	0.0
21.00	-0.1	0.03	0.13
41.00	-0.1	0.12	0.22
$V=1.8 \times 10^8 \text{m/s}$ $c=2.6 \times 10^8 \text{m/s}$			

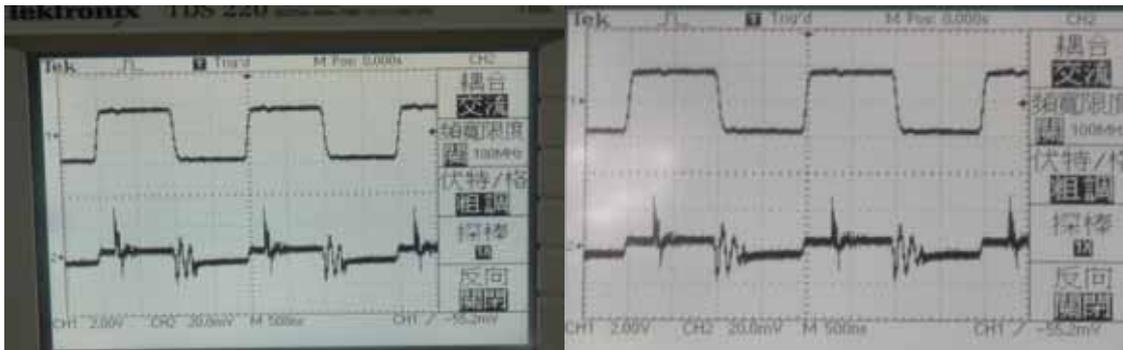


F(頻率) : 0.5MHz n(光纖折射率) : 1.467



L(公尺) : 1m

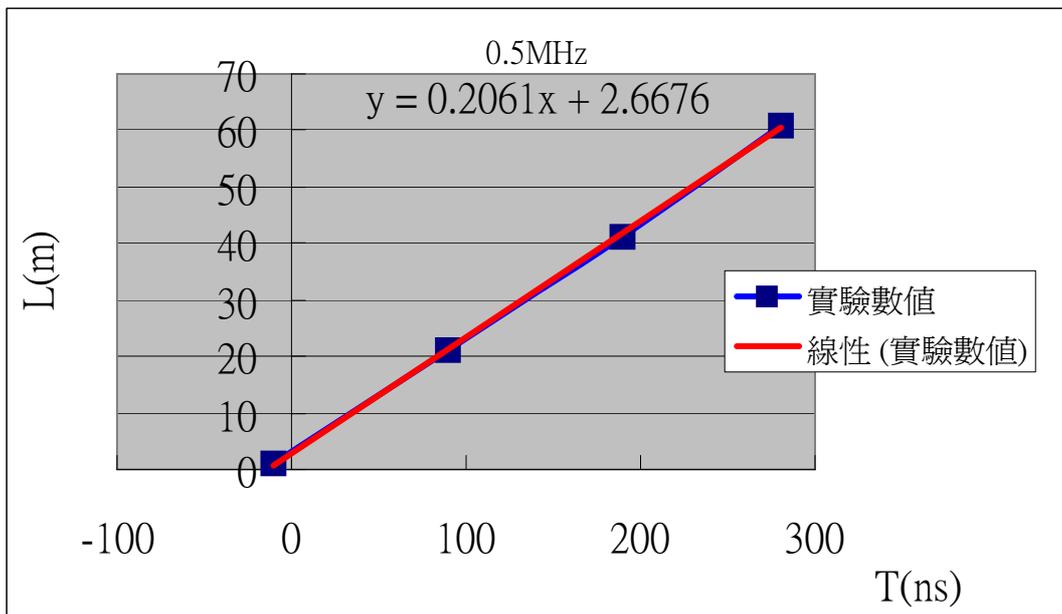
L(公尺) : 21m



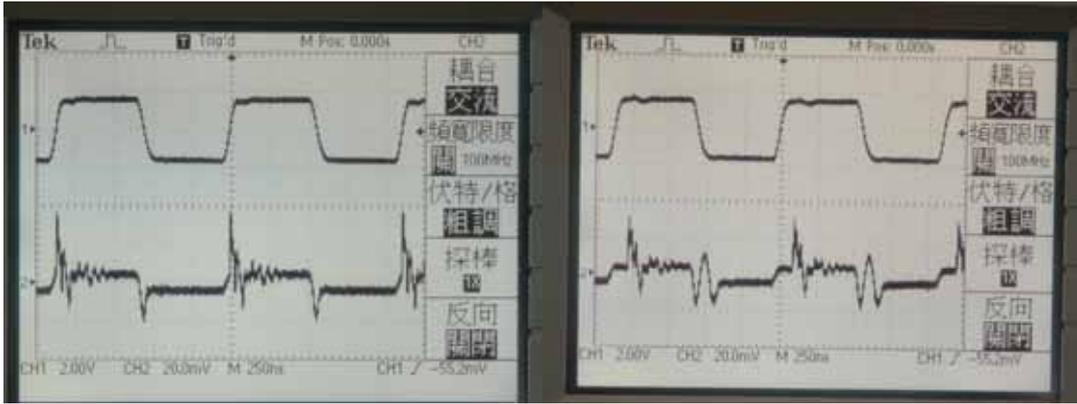
L(公尺) : 41m

L(公尺) : 61m

L 光纖長度(m)	T 初(100ns)	T 末(100ns)	ΔT(20ns)
1.00	-0.1	-0.1	0.0
21.00	-0.1	0.9	1.0
41.00	-0.1	1.9	2.0
61.00	-0.1	2.8	2.9
$V=2.1 \times 10^8 \text{ m/s}$		$c=3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$	

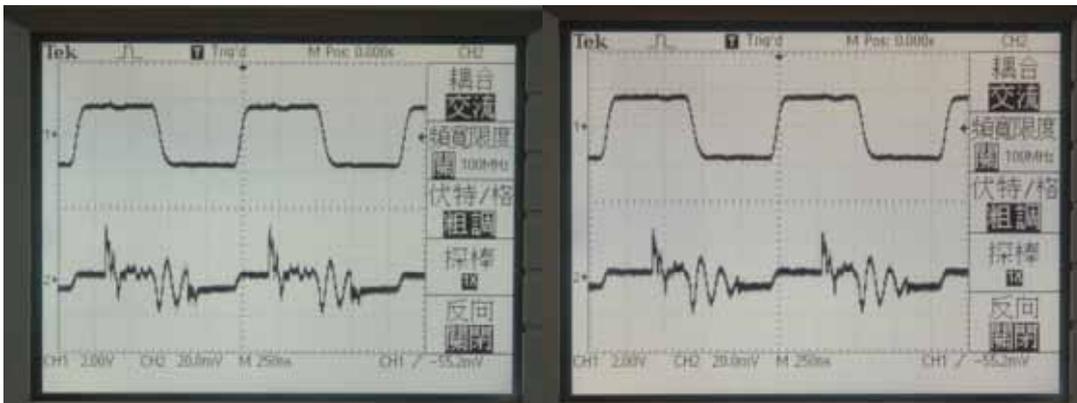


F(頻率) : 0.9MHz n(光纖折射率) : 1.467



L(公尺) : 1m

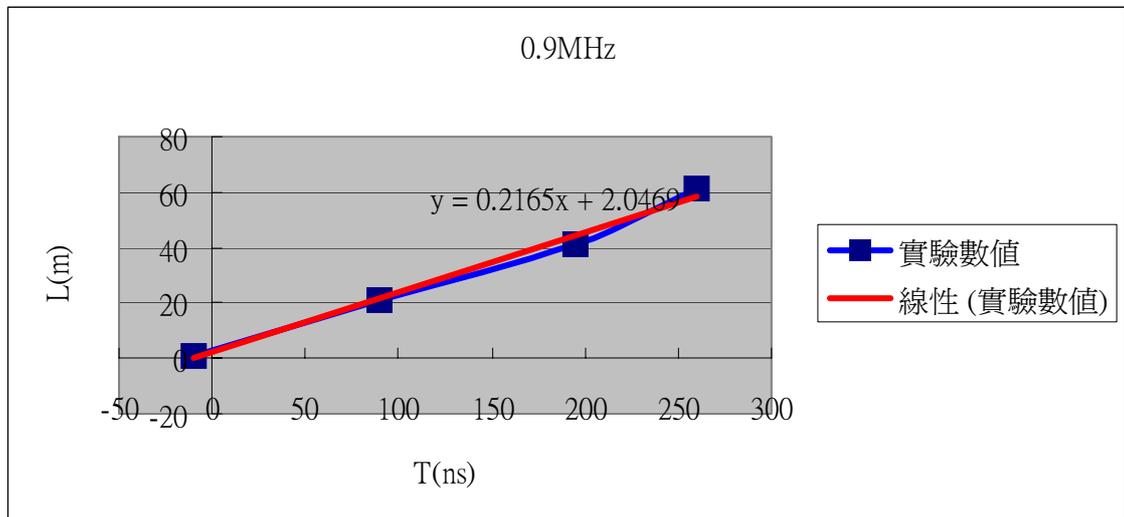
L(公尺) : 21m



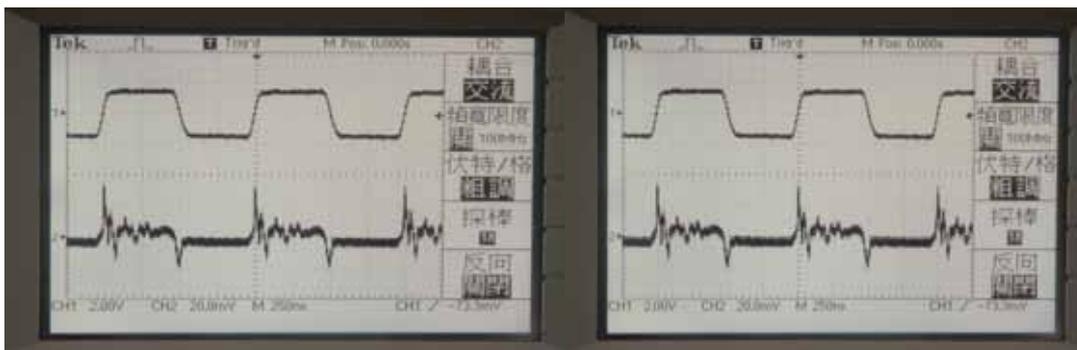
L(公尺) : 41m

L(公尺) : 61m

L(光纖長度)	T 初(50ns)	T 末(50ns)	$\Delta T(50ns)$
1.00	-0.2	-0.2	0.0
21.00	-0.2	1.8	2.0
41.00	-0.2	3.9	4.1
61.00	-0.2	5.2	5.4
$V=2.17 \times 10^8 \text{ m/s}$ $c=3.18 \times 10^8 \text{ m/s}$			

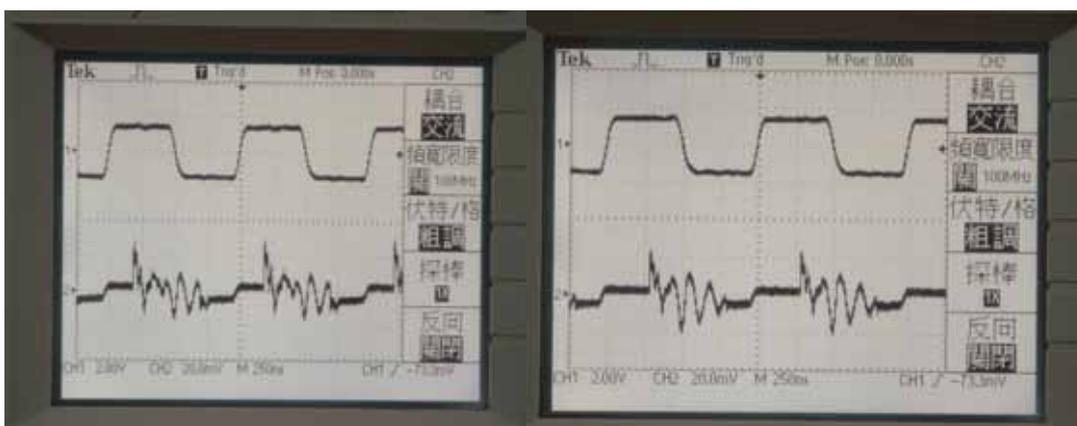


F(頻率) : 1.0MHz n(光纖折射率) : 1.467



L(公尺) : 1m

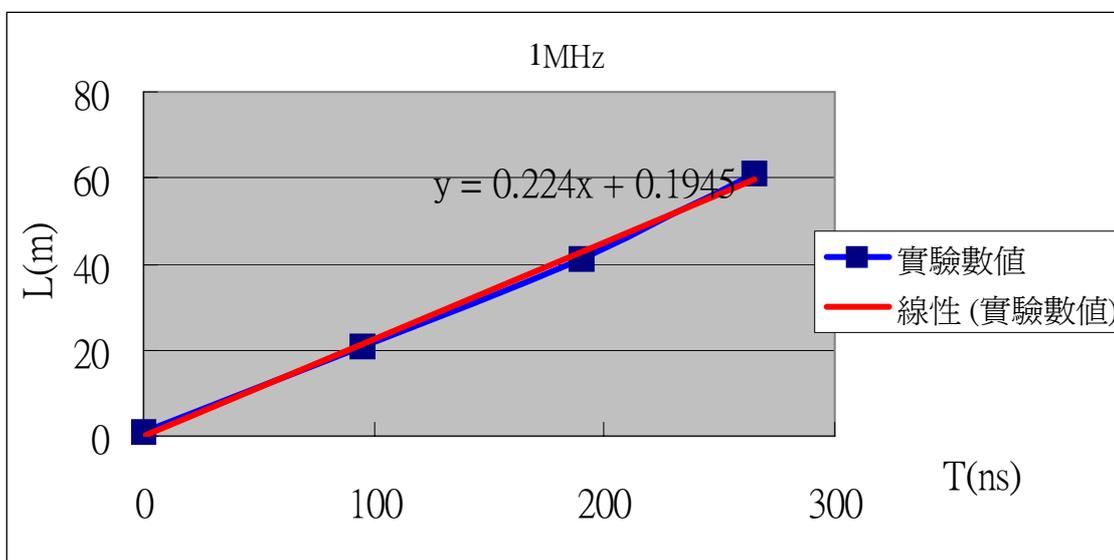
L(公尺) : 21m



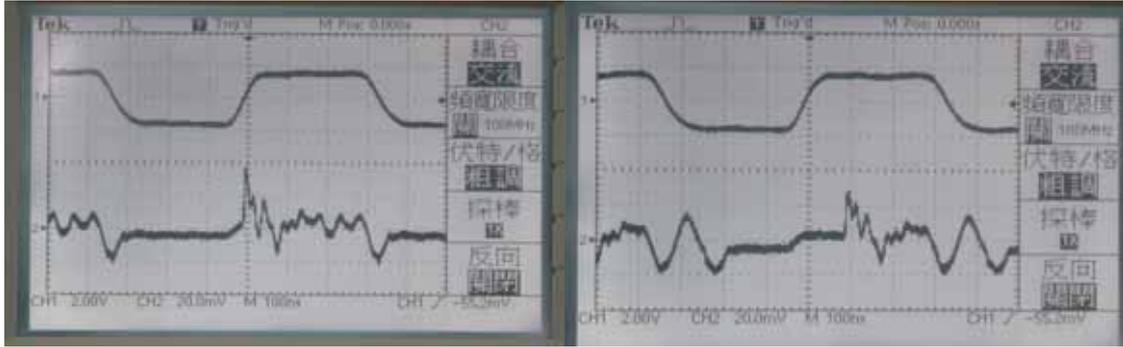
L(公尺) : 41m

L(公尺) : 61m

L 光纖長度(m)	T 初(50ns)	T 末(50ns)	△T(50ns)
1.00	0.0	0.0	0.0
21.00	0.0	1.9	1.9
41.00	0.0	3.8	3.8
61.00	0.0	5.3	5.3
$V=2.24 \times 10^8 \text{ m/s}$		$c=3.29 \times 10^8 \text{ m/s}$	

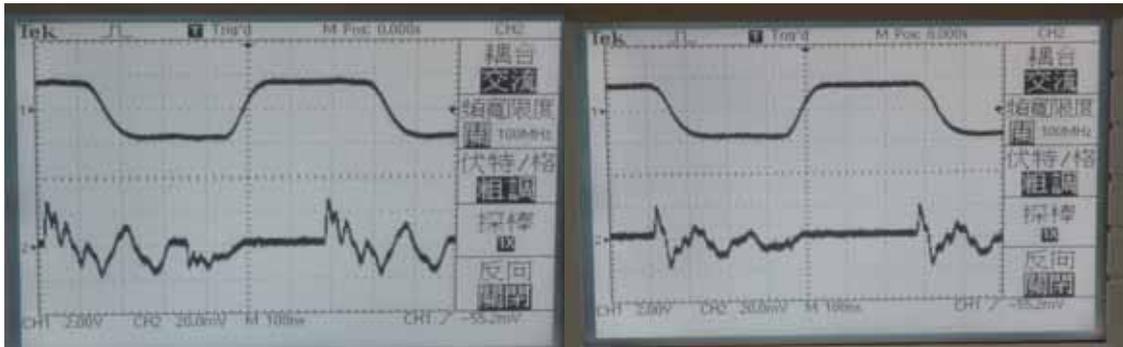


F(頻率) : 1.5 MHz n(光纖折射率) : 1.467



L(公尺) : 1m

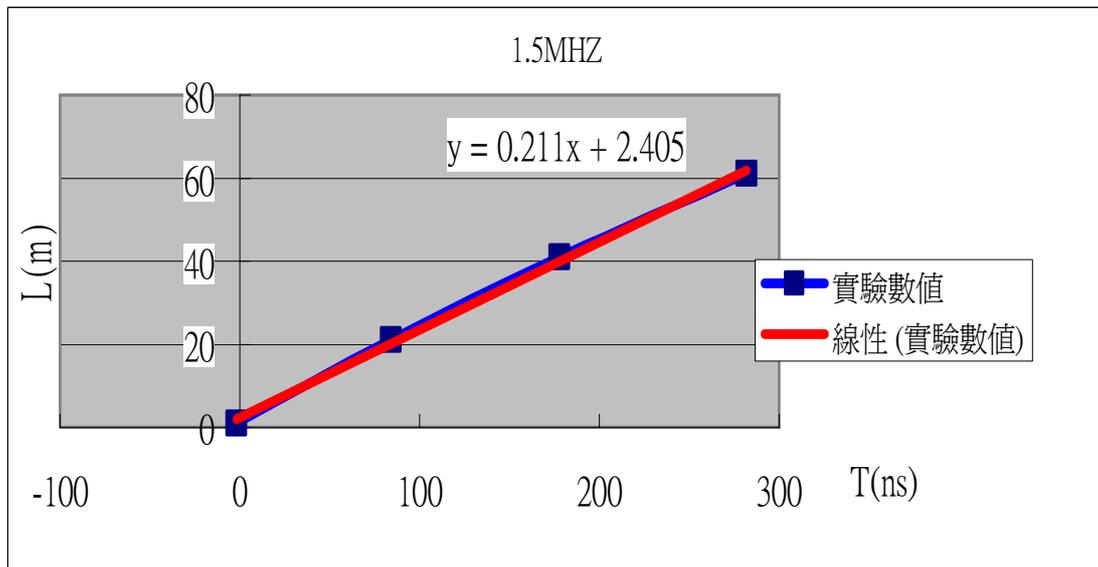
L(公尺) : 21m



L(公尺) : 41m

L(公尺) : 61m

L 光纖長度(m)	T 初(20ns)	T 末(20ns)	$\Delta T(20ns)$
1.00	-0.1	-0.1	0.0
21.00	-0.1	4.2	4.3
41.00	-0.1	8.9	9
61.00	-0.1	14.1	14.2
$V=2.11 \times 10^8$ m/s		$c=3.10 \times 10^8$ m/s	

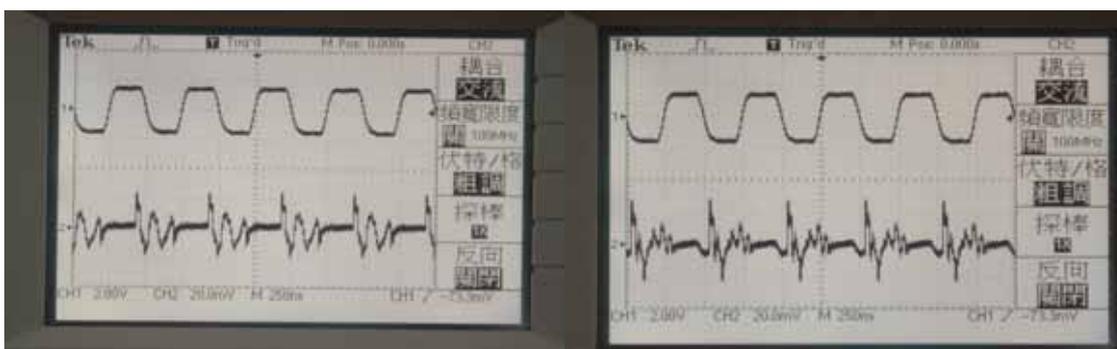


F(頻率) : 2.0 MHz n(光纖折射率) : 1.467



L(公尺) : 1m

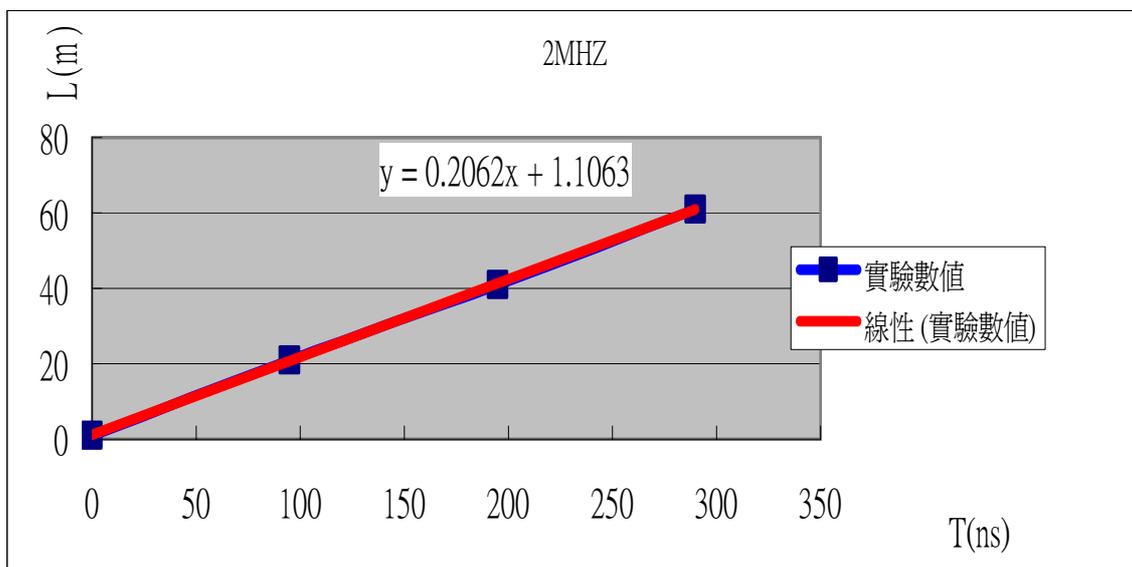
L(公尺) : 21m



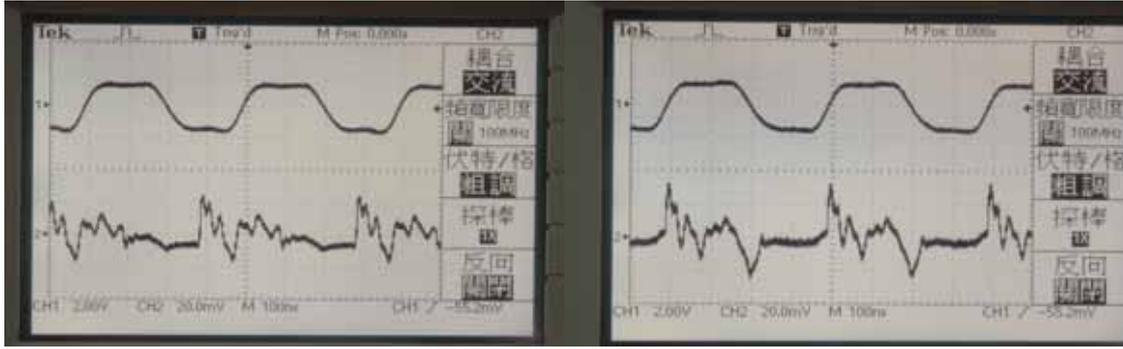
L(公尺) : 41m

L(公尺) : 61m

L 光纖長度(m)	T 初(50ns)	T 末(50ns)	$\Delta T(50ns)$
1.00	0.0	0.0	0.0
21.00	0.0	1.9	1.9
41.00	0.0	3.9	3.9
61.00	0.0	5.9	5.9
$V=2.06 \times 10^8 \text{ m/s}$		$c=3.02 \times 10^8 \text{ m/s}$	

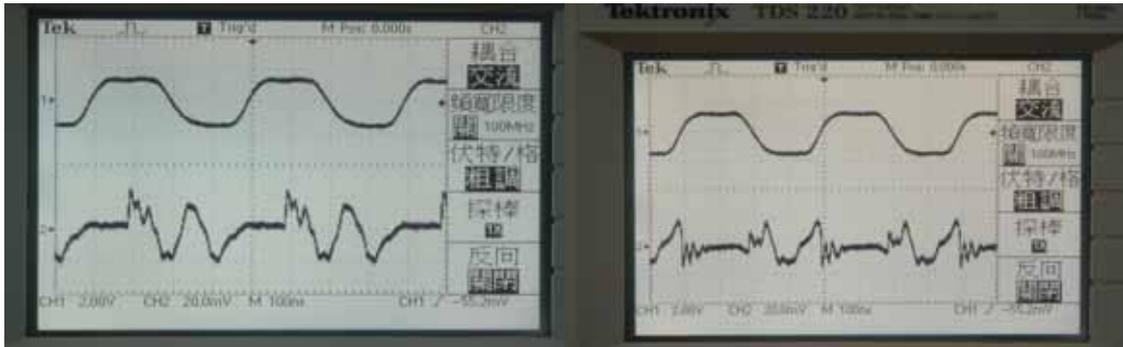


F(頻率) : 2.5 MHz n(光纖折射率) : 1.467



L(公尺) : 1m

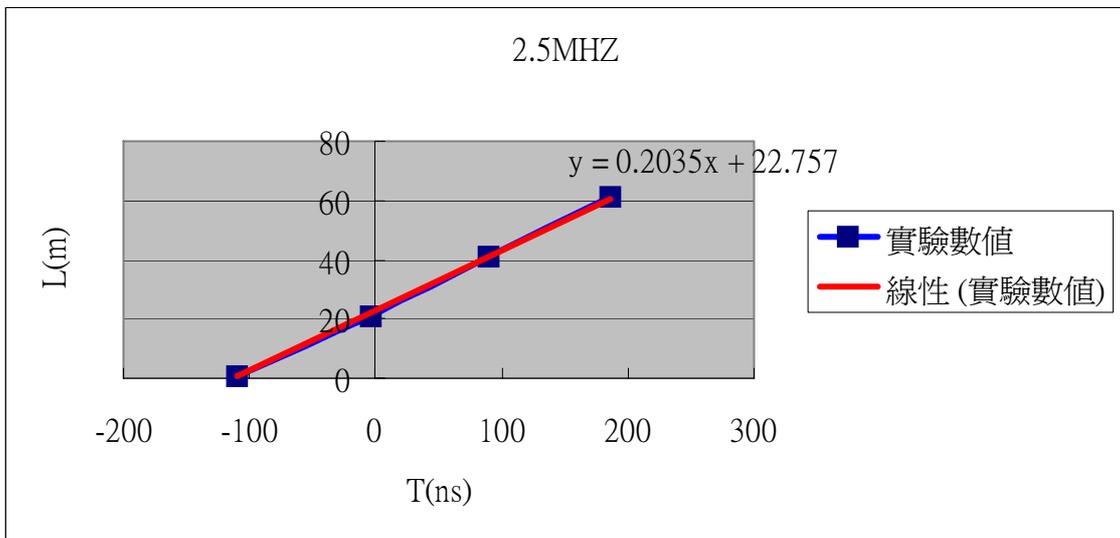
L(公尺) : 21m



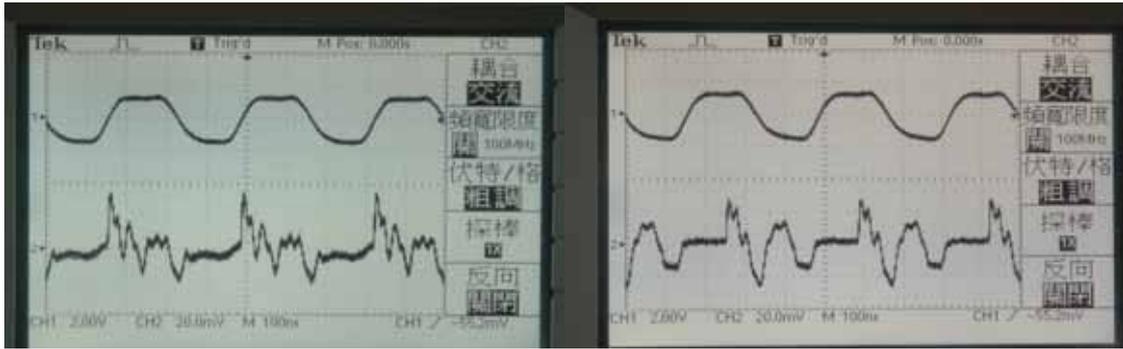
L(公尺) : 41m

L(公尺) : 61m

L 光纖長度(m)	T 初(20ns)	T 末(20ns)	$\Delta T(20ns)$
1.00	-5.5	-5.5	0.0
21.00	-5.5	-0.2	5.3
41.00	-5.5	4.5	10.0
61.00	-5.5	9.3	14.8
$V=2.04 \times 10^8 \text{ m/s}$		$c=2.99 \times 10^8 \text{ m/s}$	

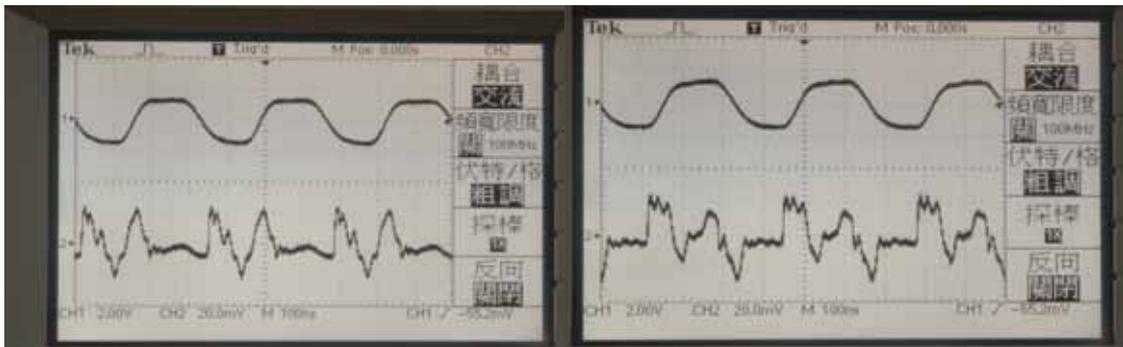


F(頻率) : 3.0 MHz n(光纖折射率) : 1.467



L(公尺) : 1m

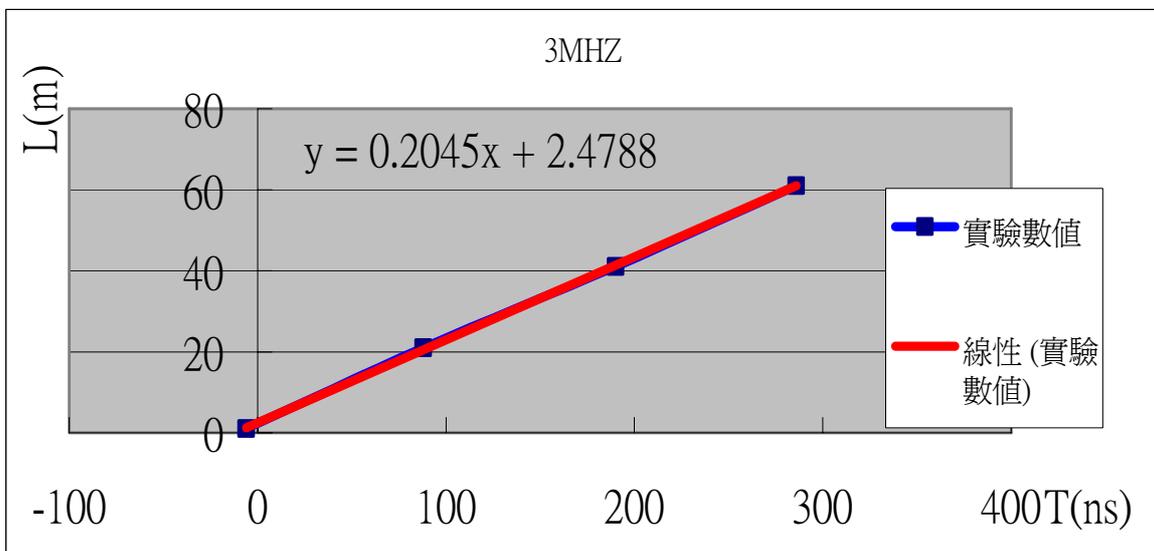
L(公尺) : 21m



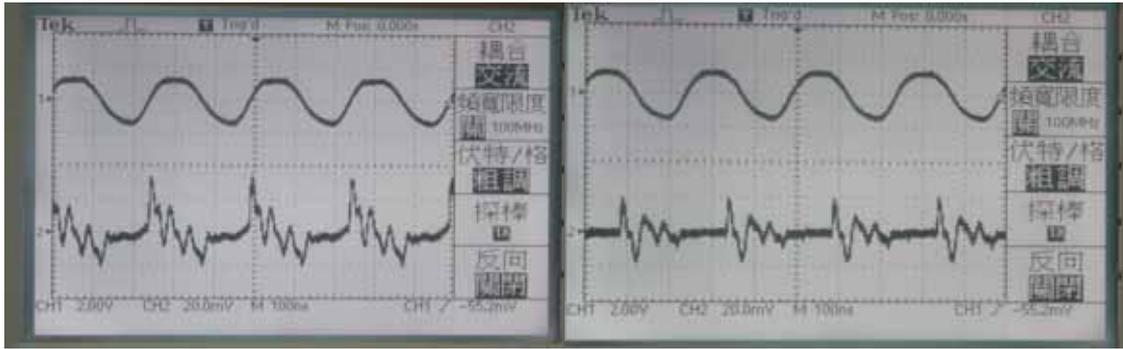
L(公尺) : 41m

L(公尺) : 61m

L 光纖長度(m)	T 初(20ns)	T 末(20ns)	ΔT(20ns)
1.00	-0.3	-0.3	0.0
21.00	-0.3	4.4	4.1
41.00	-0.3	9.5	9.2
61.00	-0.3	14.3	14
$V=2.05 \times 10^8$ m/s		$c=3.00 \times 10^8$ m/s	



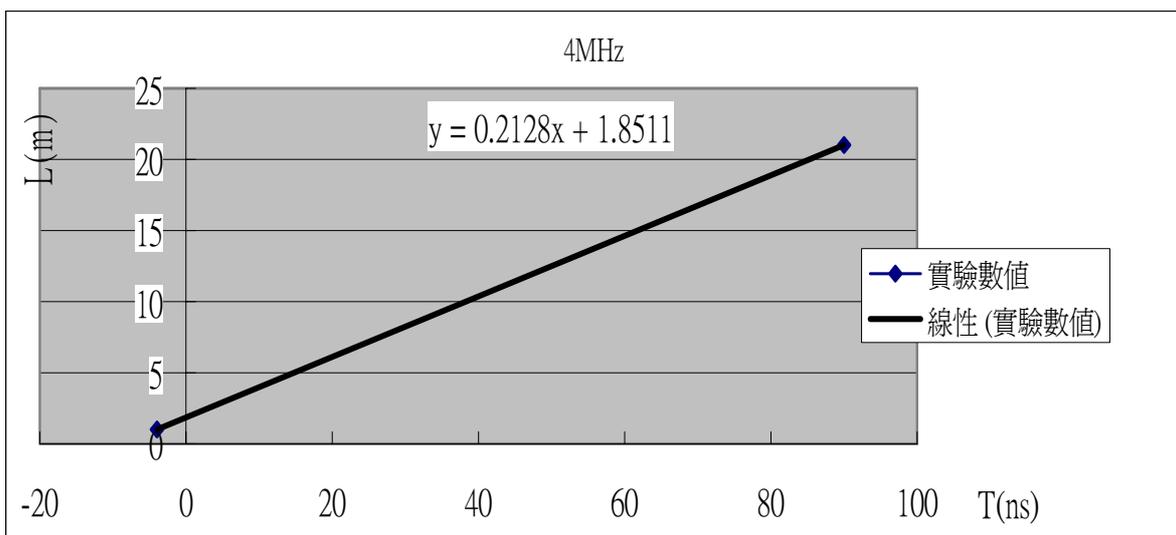
F(頻率) : 4.0MHz n(光纖折射率) : 1.467



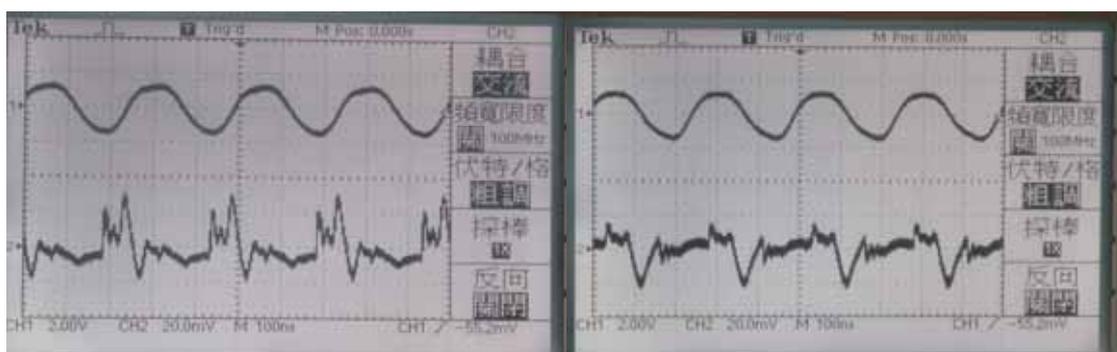
L(公尺) : 1m

L(公尺) : 21m

L 光纖長度(m)	T 初(50ns)	T 末(50ns)	$\Delta T(50ns)$
1.00	-0.2	-0.2	0.0
21.00	-0.2	4.5	4.7
$V=2.13 \times 10^8$ m/s		$c=3.12 \times 10^8$ m/s	



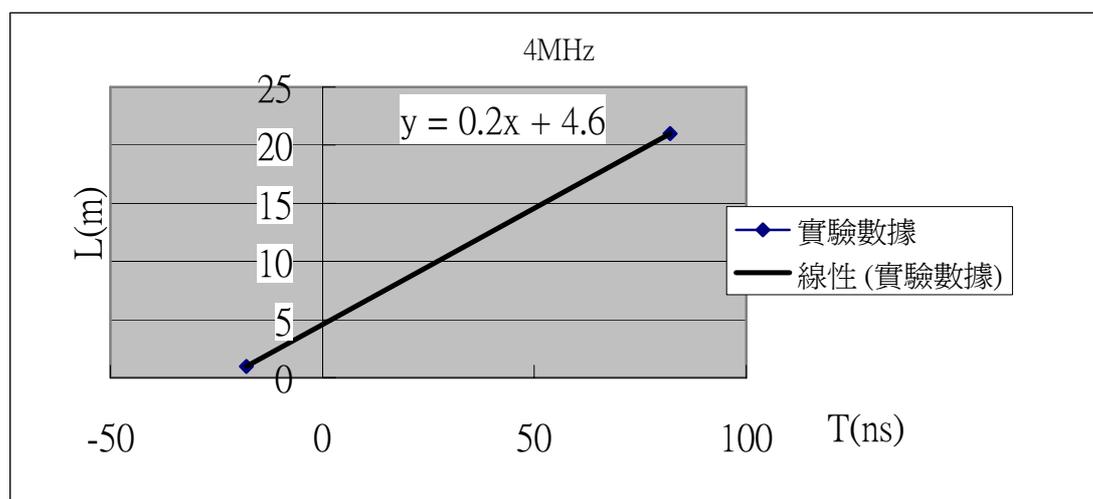
F(頻率) : 4.0MHz n(光纖折射率) : 1.467



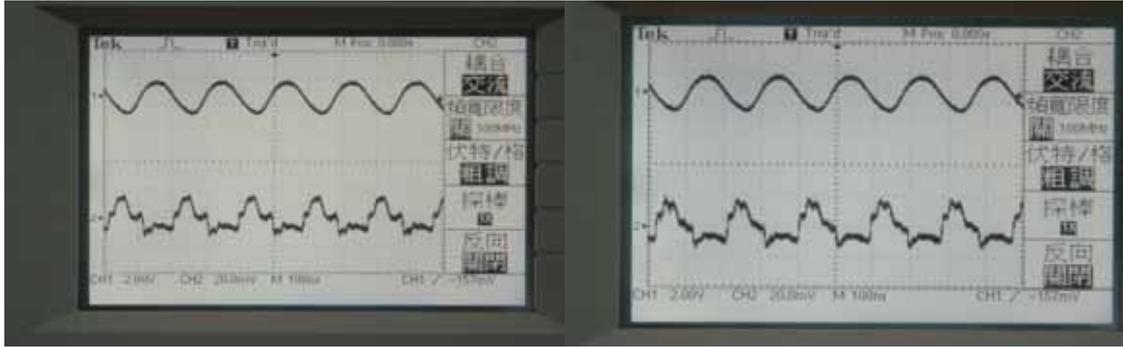
L(公尺) : 41m

L(公尺) : 61m

L(光纖長度)	T 初(20ns)	T 末(20ns)	$\Delta T(20ns)$
41.00	-0.9	-0.9	00
61.00	-0.9	4.1	5.0
$V=2.00 \times 10^8$ m/s $c=2.93 \times 10^8$ m/s			



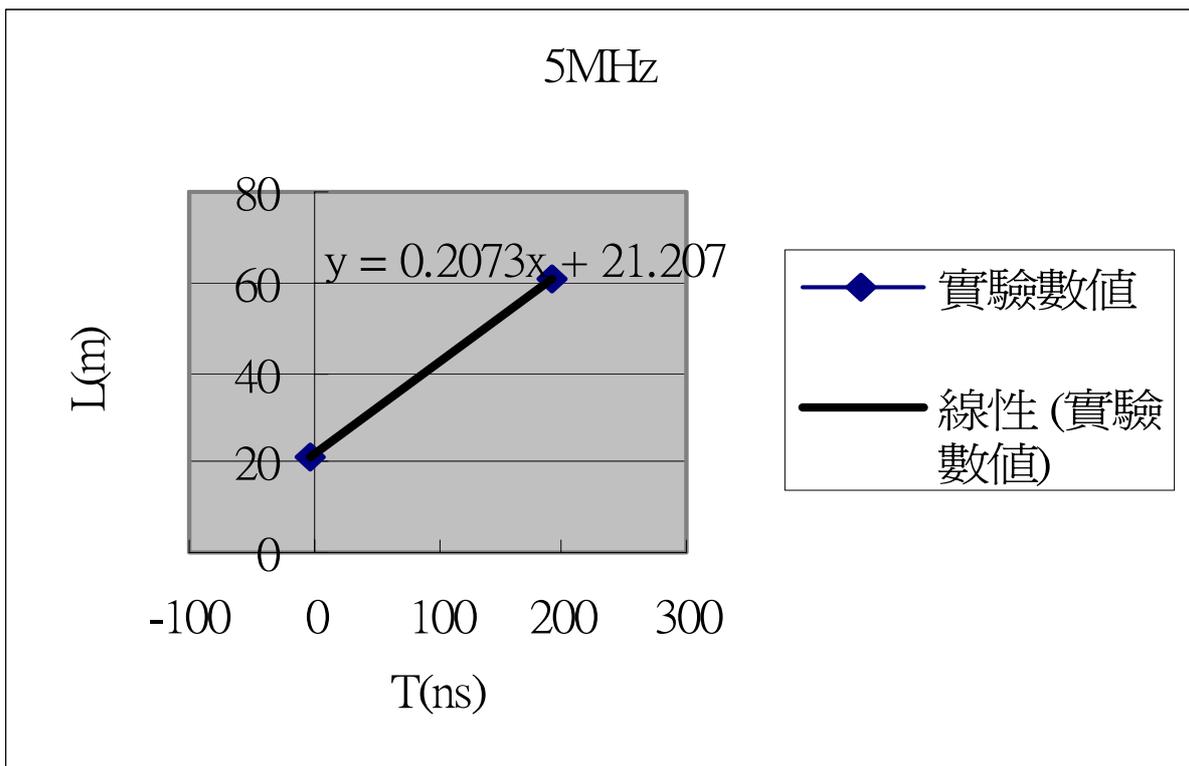
F(頻率) : 5.0MHz n(光纖折射率) : 1.467



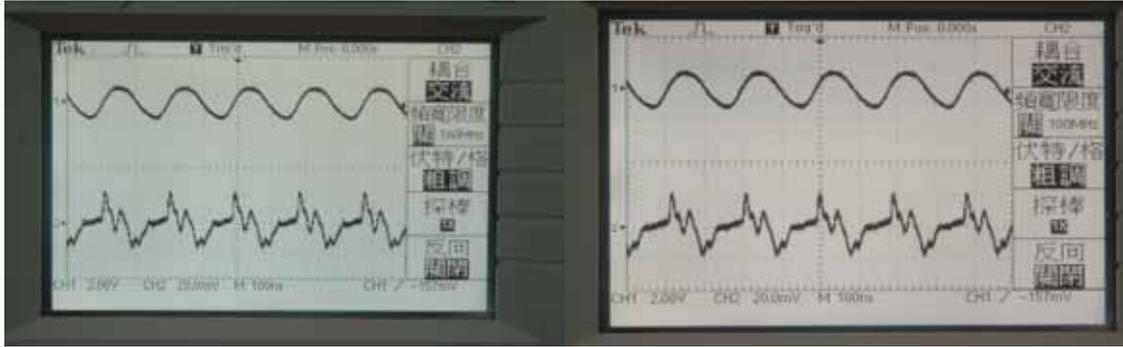
L(公尺) : 21m

L(公尺) : 61m

L(光纖長度)	T 初(20ns)	T 末(20ns)	$\Delta T(20ns)$
1.00	-0.5	-0.5	0.0
41.00	-0.5	9.6	10.1
$V=2.07 \times 10^8 \text{m/s}$ $c=3.04 \times 10^8 \text{m/s}$			



F(頻率) : 5.0MHz n(光纖折射率) : 1.467

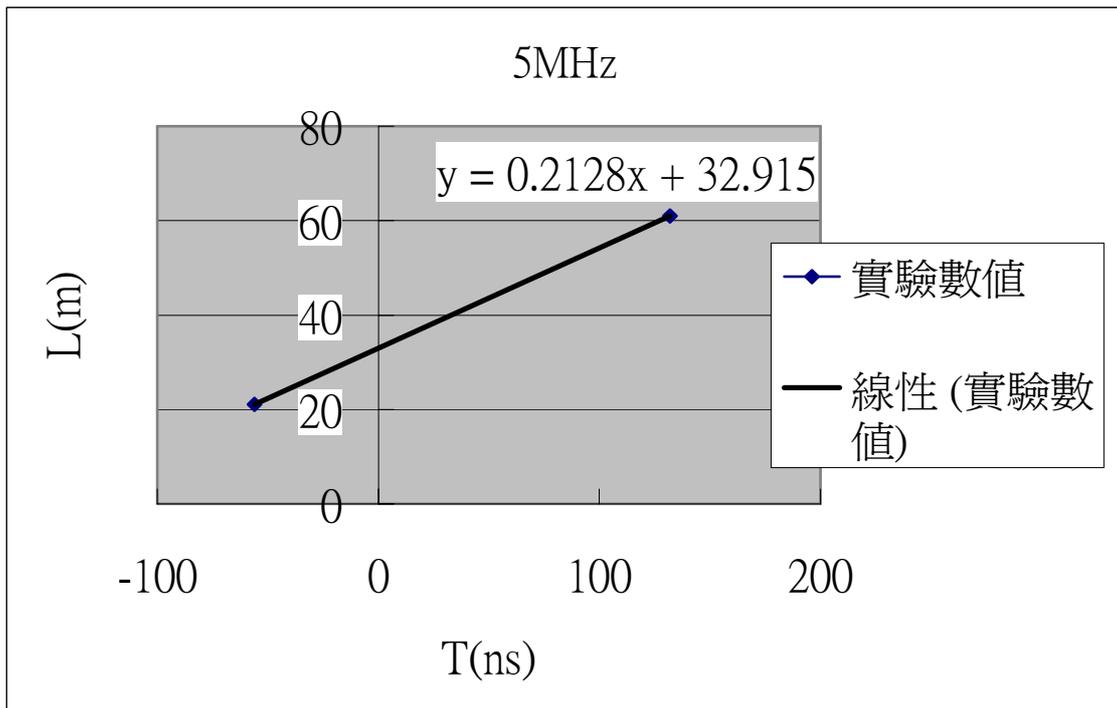


L(公尺) : 1m

L(公尺) : 41m

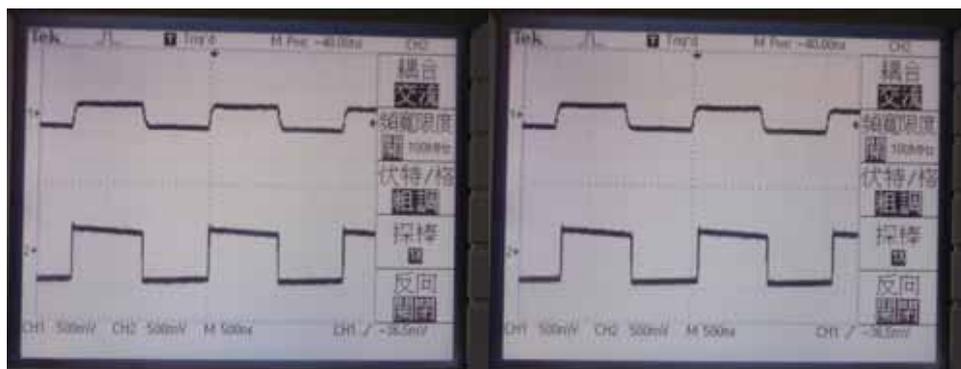
L(光纖長度)	T 初(20ns)	T 末(20ns)	△T(20ns)
21.00	-2.8	-2.8	0.0
61.00	-2.8	6.6	9.4

$V=2.13 \times 10^8 \text{m/s}$ $c=3.12 \times 10^8 \text{m/s}$



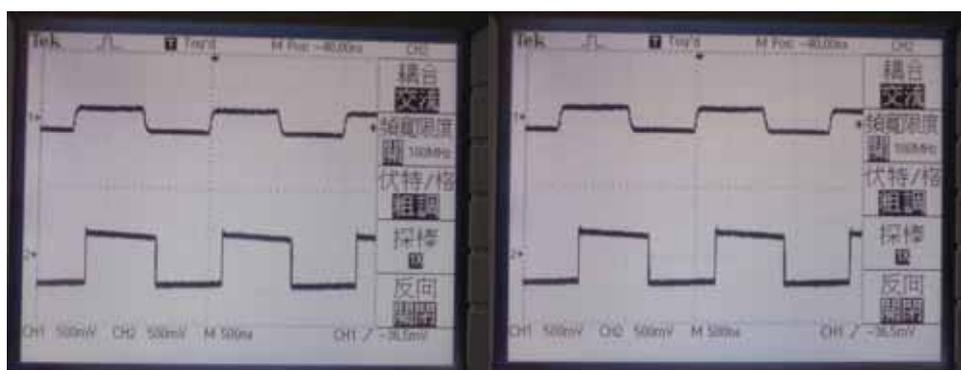
使用新實驗設計(紅外線收發模組測試板及同軸線纜後)
重新實驗之數據如後

F(頻率) : 0.5 MHz n(光纖折射率) : 1.467



L(公尺) : 1m

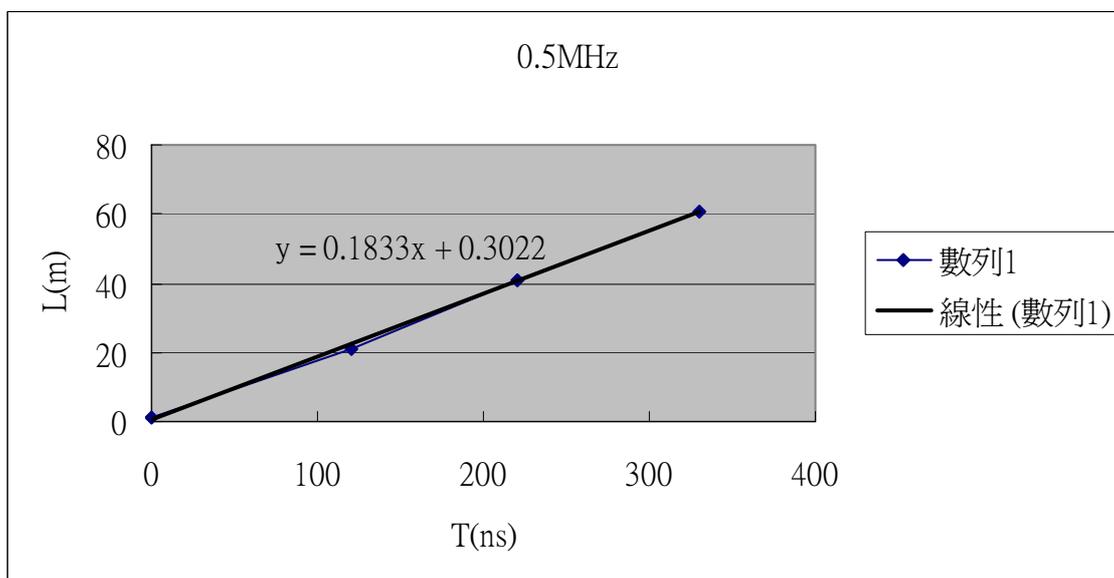
L(公尺) : 21m



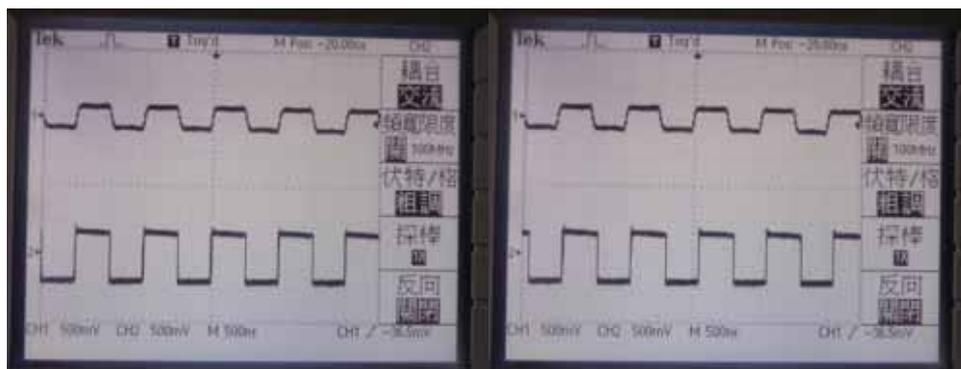
L(公尺) : 41m

L(公尺) : 61m

L 光纖長度(m)	T 初(500ns)	T 末(500ns)	△T(500ns)
1.00	0.0	0.0	0.0
21.00	0.0	1.2	1.2
41.00	0.0	2.2	2.2
61.00	0.0	3.3	3.3
$V=1.83 \times 10^8$ m/s		$c=2.68 \times 10^8$ m/s	

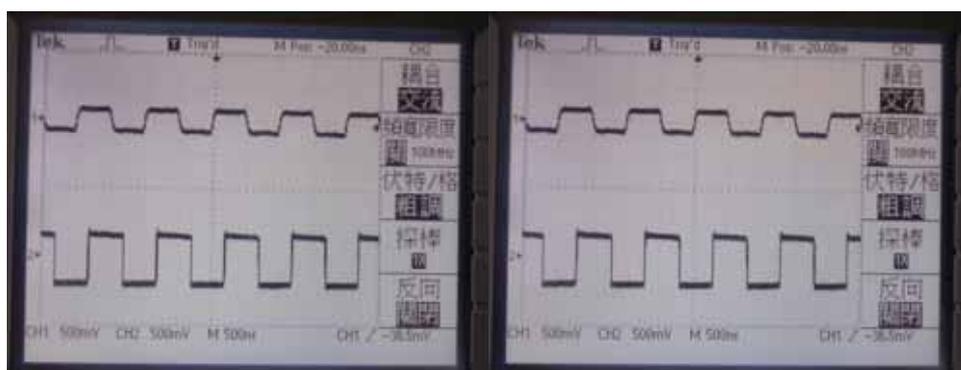


F(頻率) : 1.0 MHz n(光纖折射率) : 1.467



L(公尺) : 1m

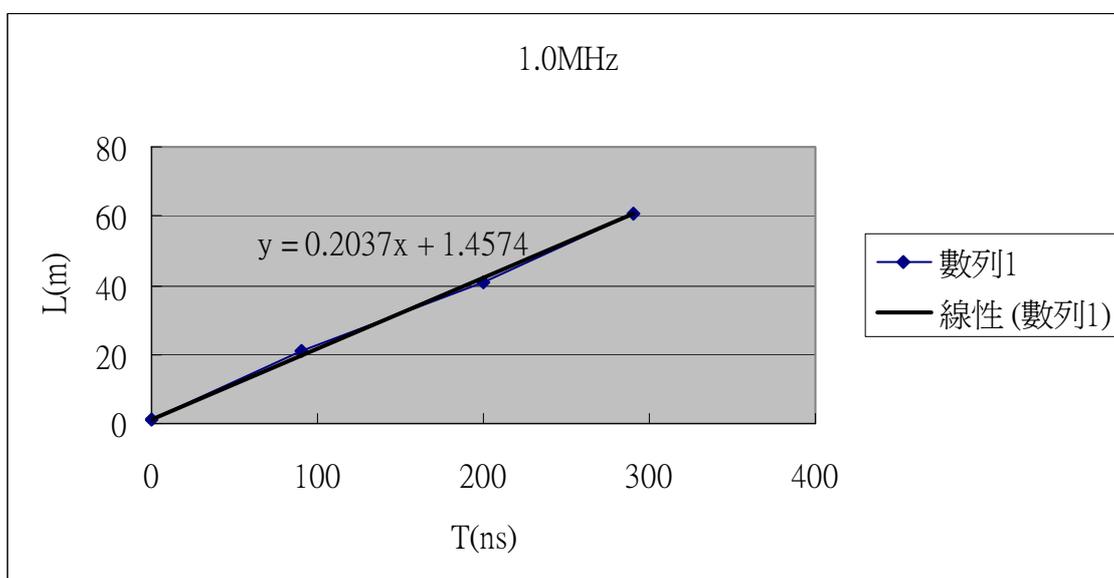
L(公尺) : 21m



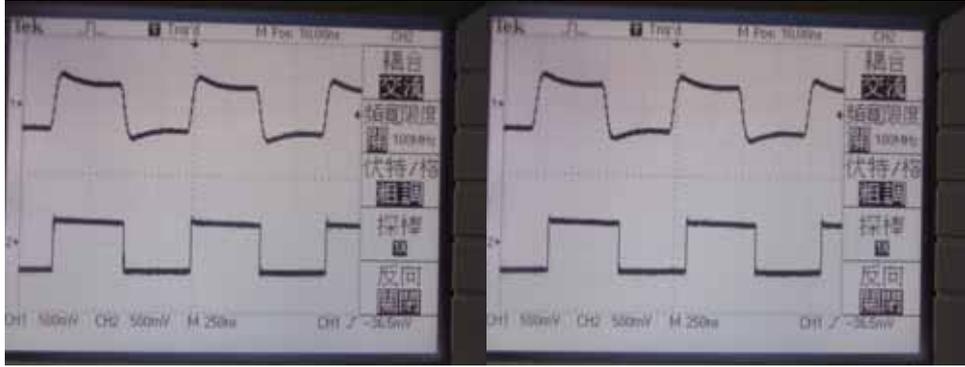
L(公尺) : 41m

L(公尺) : 61m

L 光纖長度(m)	T 初(500ns)	T 末(500ns)	$\Delta T(500ns)$
1.00	0.0	0.0	0.0
21.00	0.0	0.9	0.9
41.00	0.0	2.0	2.0
61.00	0.0	2.9	2.9
$V=2.04 \times 10^8$ m/s		$c=2.99 \times 10^8$ m/s	

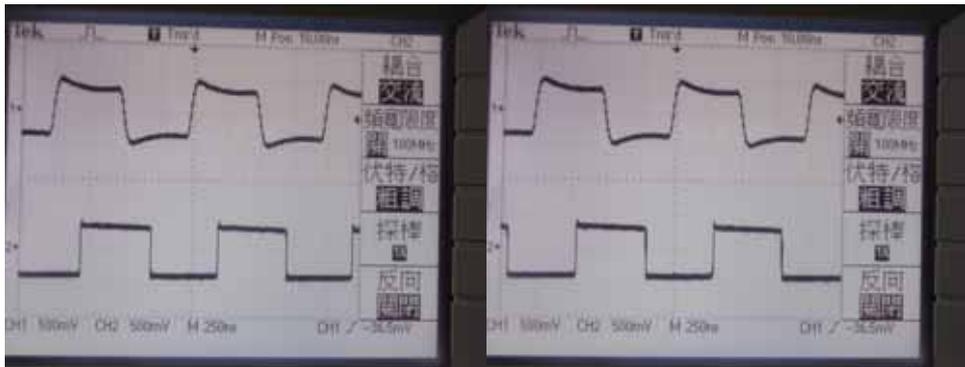


F(頻率) : 1.5 MHz n(光纖折射率) : 1.467



L(公尺) : 1m

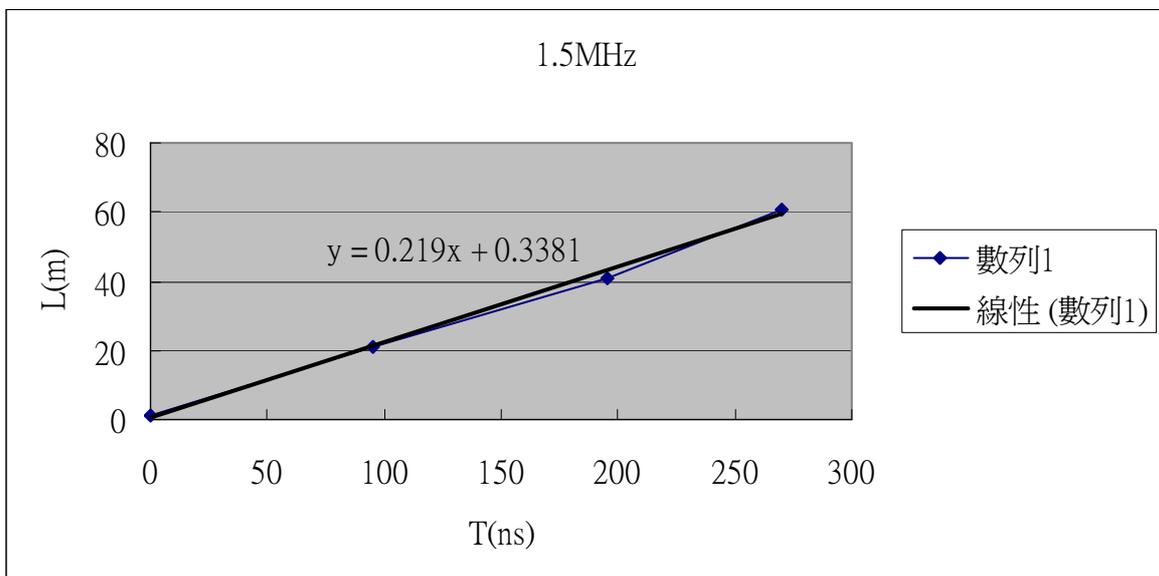
L(公尺) : 21m



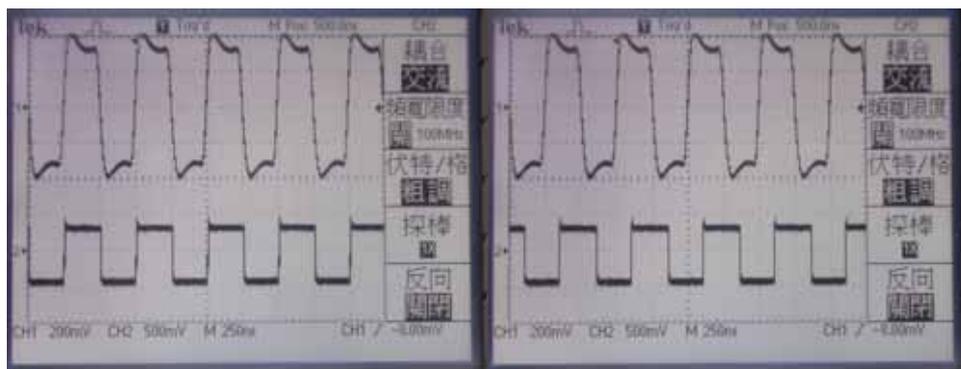
L(公尺) : 41m

L(公尺) : 61m

L 光纖長度(m)	T 初(250ns)	T 末(250ns)	△T(250ns)
1.00	0.0	0.0	0.0
21.00	0.0	1.9	1.9
41.00	0.0	3.9	3.9
61.00	0.0	5.4	5.4
$V=2.19 \times 10^8$ m/s		$c=3.21 \times 10^8$ m/s	

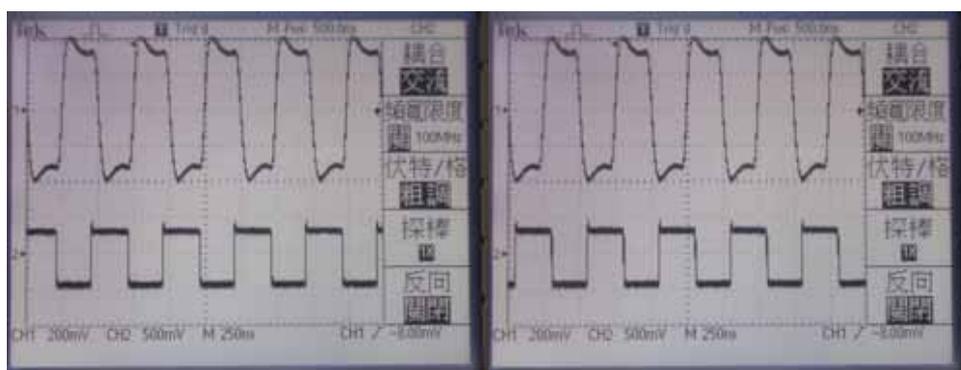


F(頻率) : 2.0 MHz n(光纖折射率) : 1.467



L(公尺) : 1m

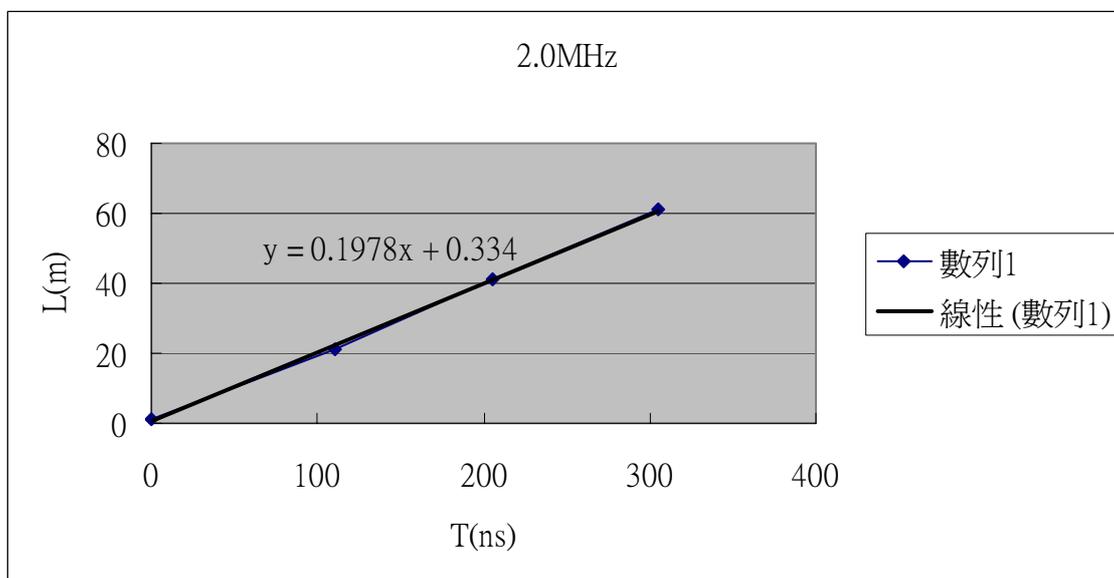
L(公尺) : 21m



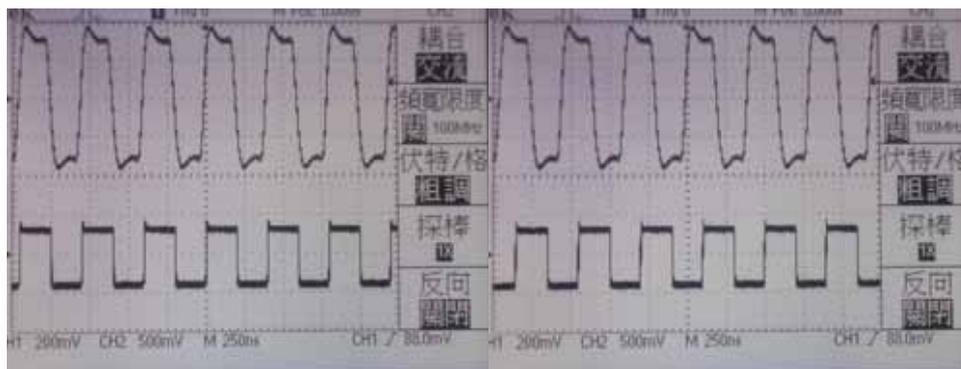
L(公尺) : 41m

L(公尺) : 61m

L 光纖長度(m)	T 初(250ns)	T 末(250ns)	△T(250ns)
1.00	0.0	0.0	0.0
21.00	0.0	2.2	2.2
41.00	0.0	4.1	4.1
61.00	0.0	6.1	6.1
$V=1.98 \times 10^8$ m/s		$c=2.90 \times 10^8$ m/s	

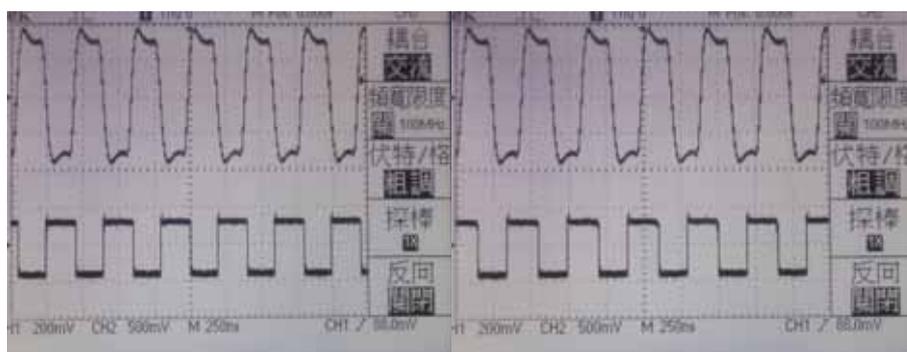


F(頻率) : 2.5 MHz n(光纖折射率) : 1.467



L(公尺) : 1m

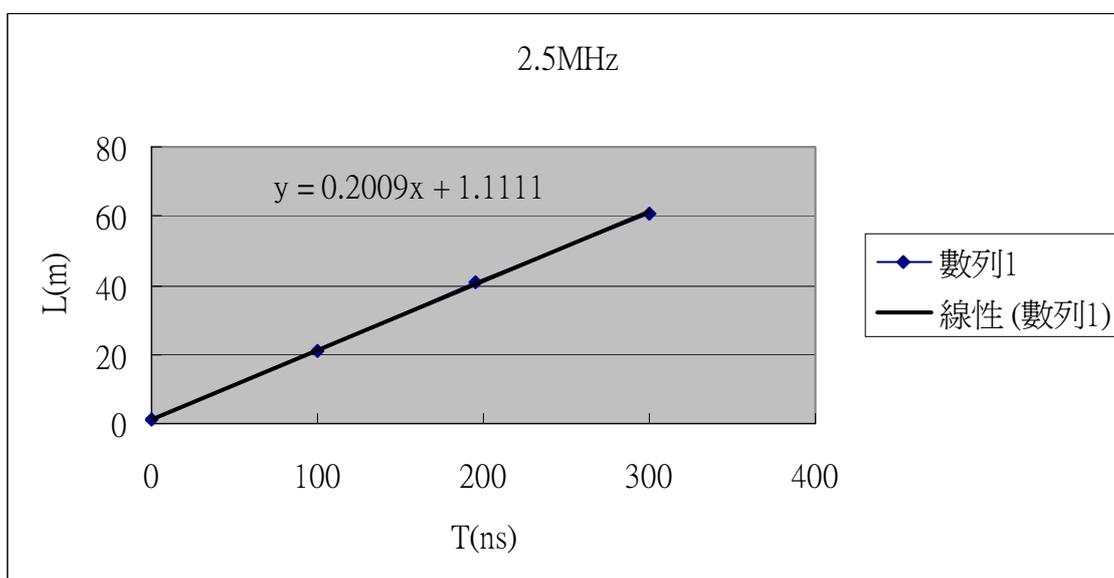
L(公尺) : 21m



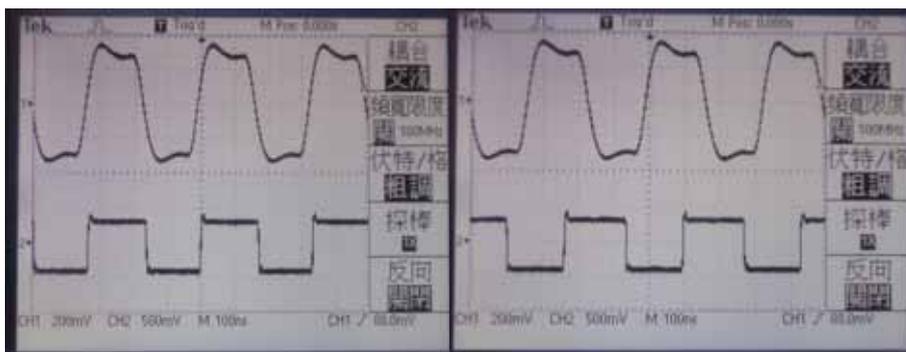
L(公尺) : 41m

L(公尺) : 61m

L 光纖長度(m)	T 初(250ns)	T 末(250ns)	△T(250ns)
1.00	0.0	0.0	0.0
21.00	0.0	2.0	2.0
41.00	0.0	3.9	3.9
61.00	0.0	6.0	6.0
$V=2.01 \times 10^8$ m/s		$c=2.95 \times 10^8$ m/s	

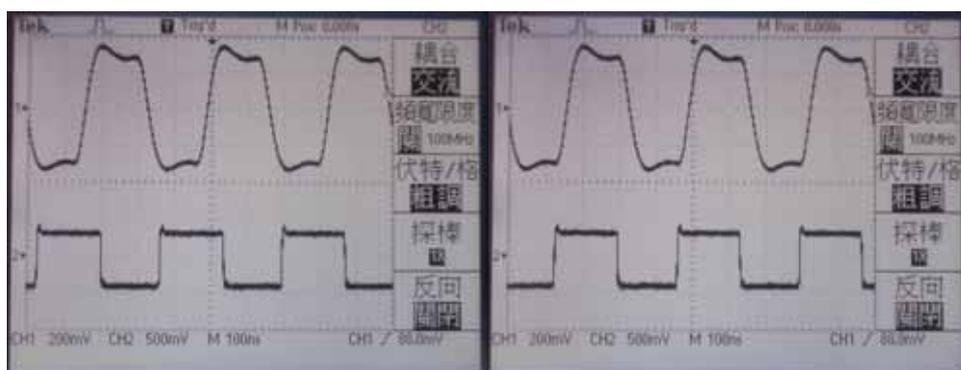


F(頻率) : 3.0 MHz n(光纖折射率) : 1.467



L(公尺) : 1m

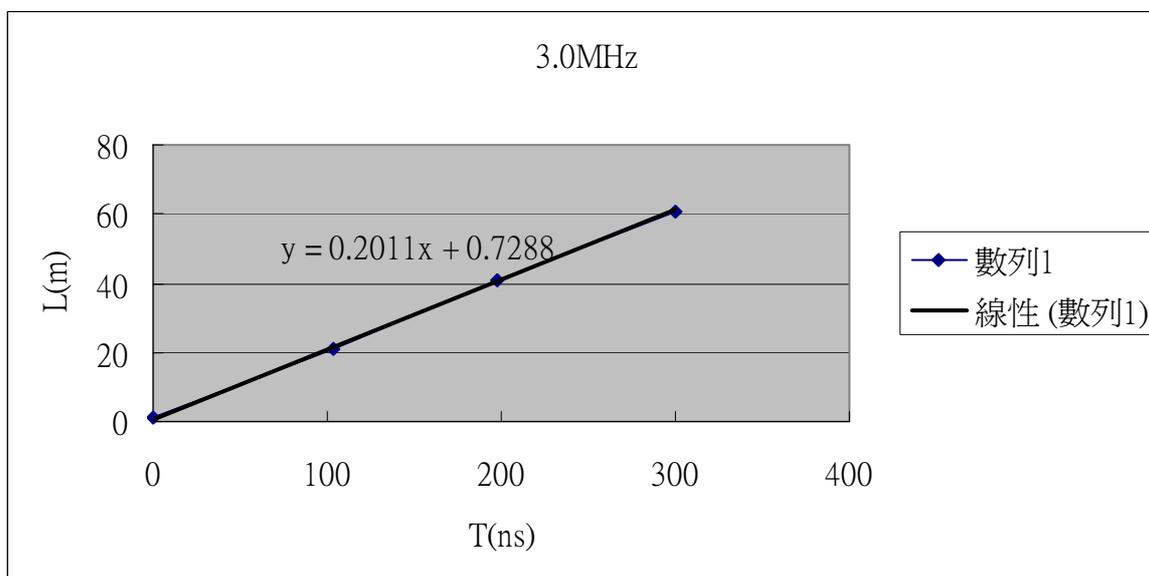
L(公尺) : 21m



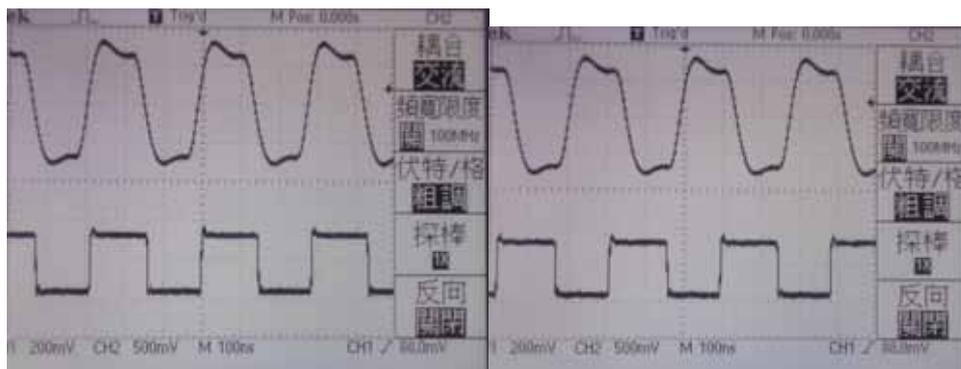
L(公尺) : 41m

L(公尺) : 61m

L 光纖長度(m)	T 初(100ns)	T 末(100ns)	△T(100ns)
1.00	0.0	0.0	0.0
21.00	0.0	5.2	5.2
41.00	0.0	9.9	9.9
61.00	0.0	15.0	15.0
$V=2.01 \times 10^8$ m/s		$c=2.95 \times 10^8$ m/s	

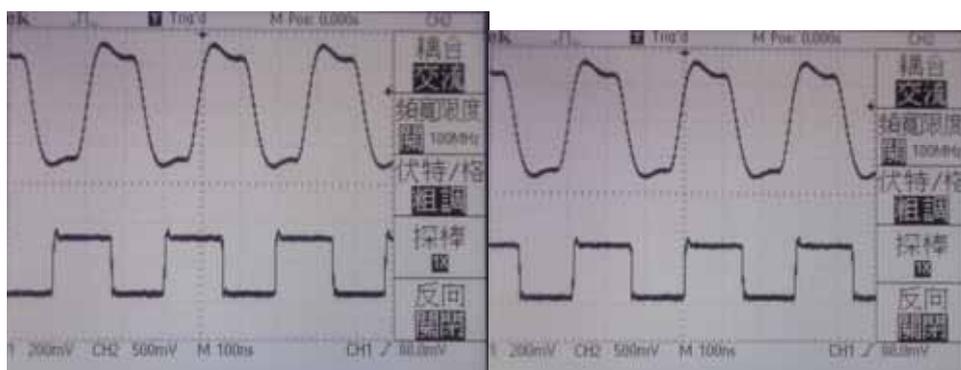


F(頻率) : 3.5 MHz n(光纖折射率) : 1.467



L(公尺) : 1m

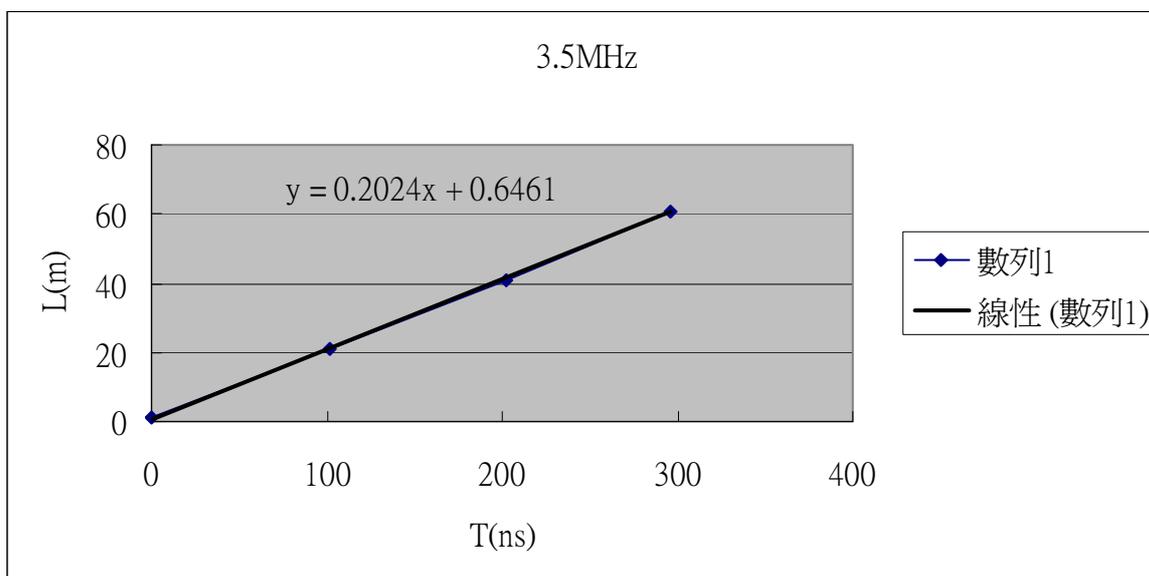
L(公尺) : 21m



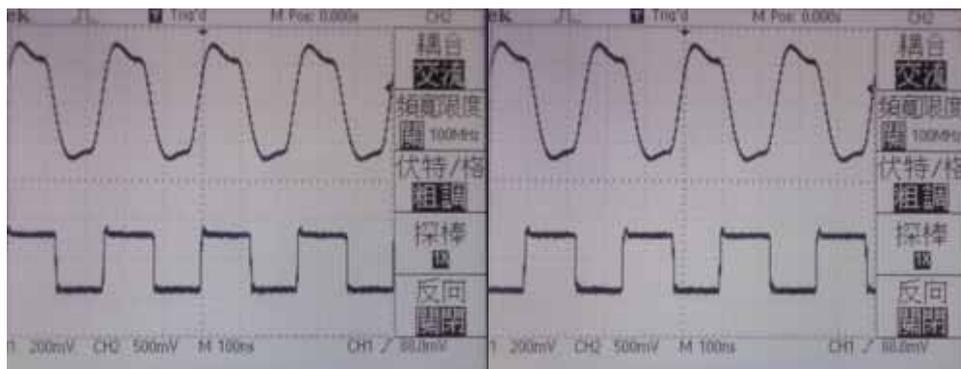
L(公尺) : 41m

L(公尺) : 61m

L 光纖長度(m)	T 初(100ns)	T 末(100ns)	△T(100ns)
1.00	0.0	0.0	0.0
21.00	0.0	5.1	5.1
41.00	0.0	10.1	10.1
61.00	0.0	14.8	14.8
$V=2.02 \times 10^8$ m/s		$c=2.96 \times 10^8$ m/s	

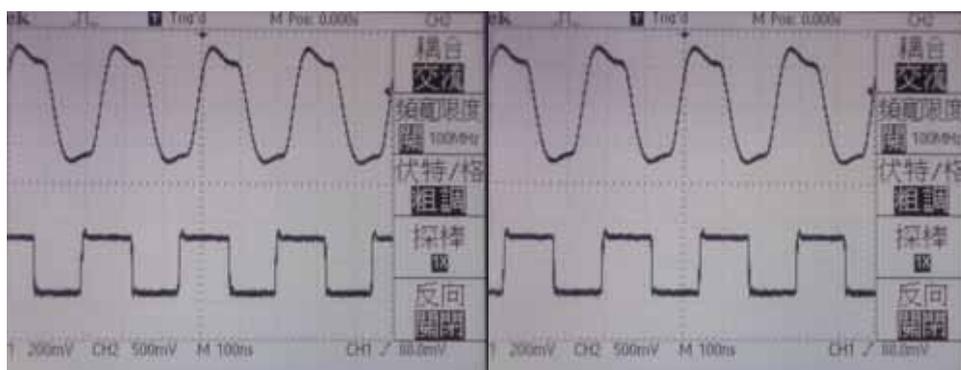


F(頻率) : 4.0 MHz n(光纖折射率) : 1.467



L(公尺) : 1m

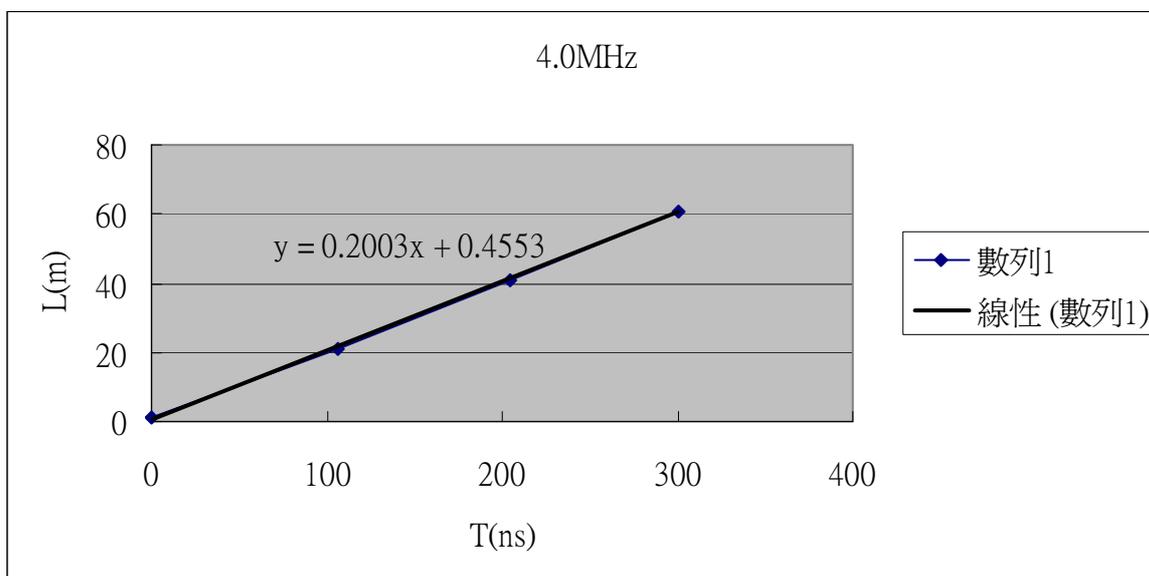
L(公尺) : 21m



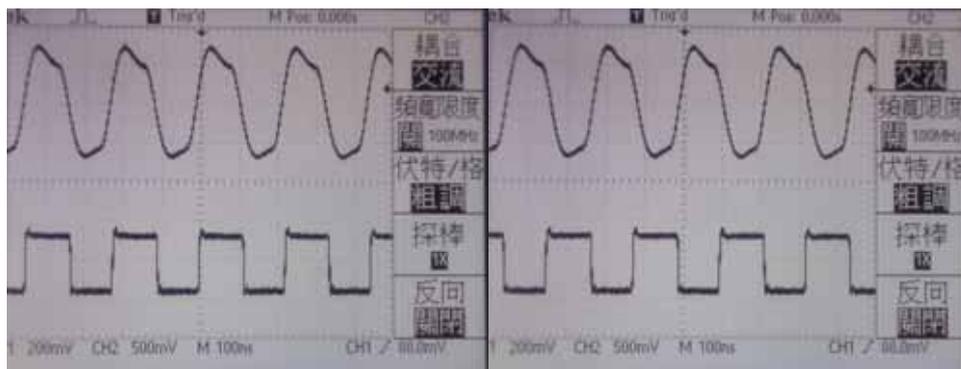
L(公尺) : 41m

L(公尺) : 61m

L 光纖長度(m)	T 初(100ns)	T 末(100ns)	△T(100ns)
1.00	0.0	0.0	0.0
21.00	0.0	5.3	5.3
41.00	0.0	10.2	10.2
61.00	0.0	15.0	15.0
$V=2.00 \times 10^8$ m/s		$c=2.93 \times 10^8$ m/s	

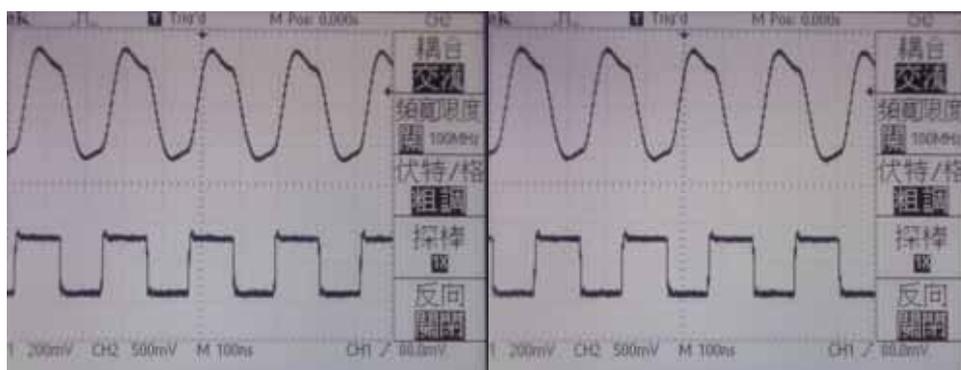


F(頻率) : 4.5 MHz n(光纖折射率) : 1.467



L(公尺) : 1m

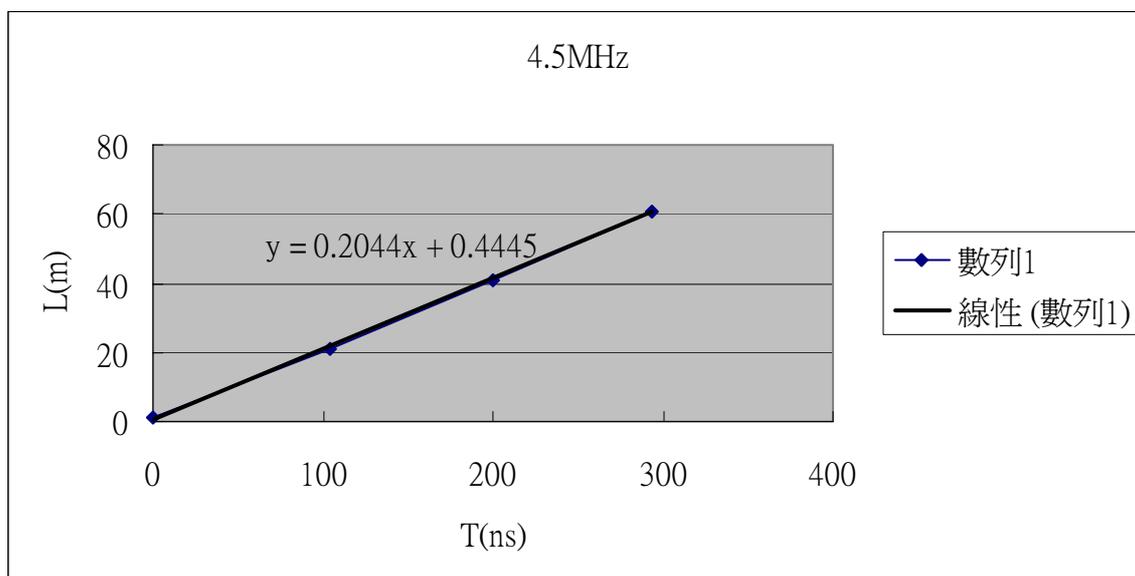
L(公尺) : 21m



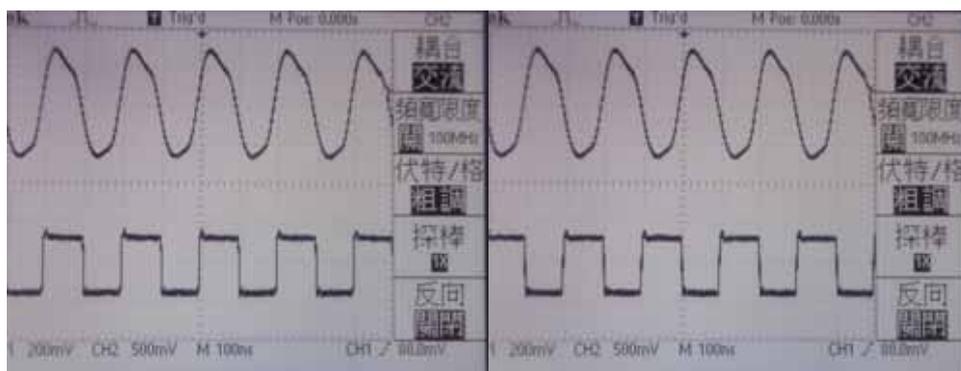
L(公尺) : 41m

L(公尺) : 61m

L 光纖長度(m)	T 初(100ns)	T 末(100ns)	△T(100ns)
1.00	0.0	0.0	0.0
21.00	0.0	5.2	5.2
41.00	0.0	10.0	10.0
61.00	0.0	14.7	14.7
$V=2.04 \times 10^8$ m/s		$c=2.99 \times 10^8$ m/s	

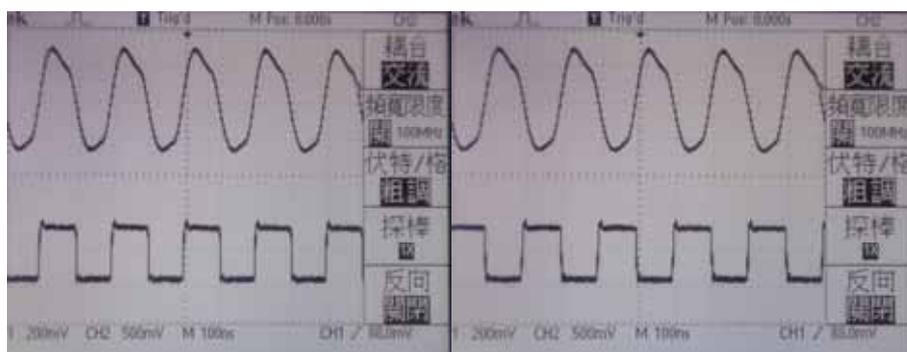


F(頻率) : 4.5 MHz n(光纖折射率) : 1.467



L(公尺) : 1m

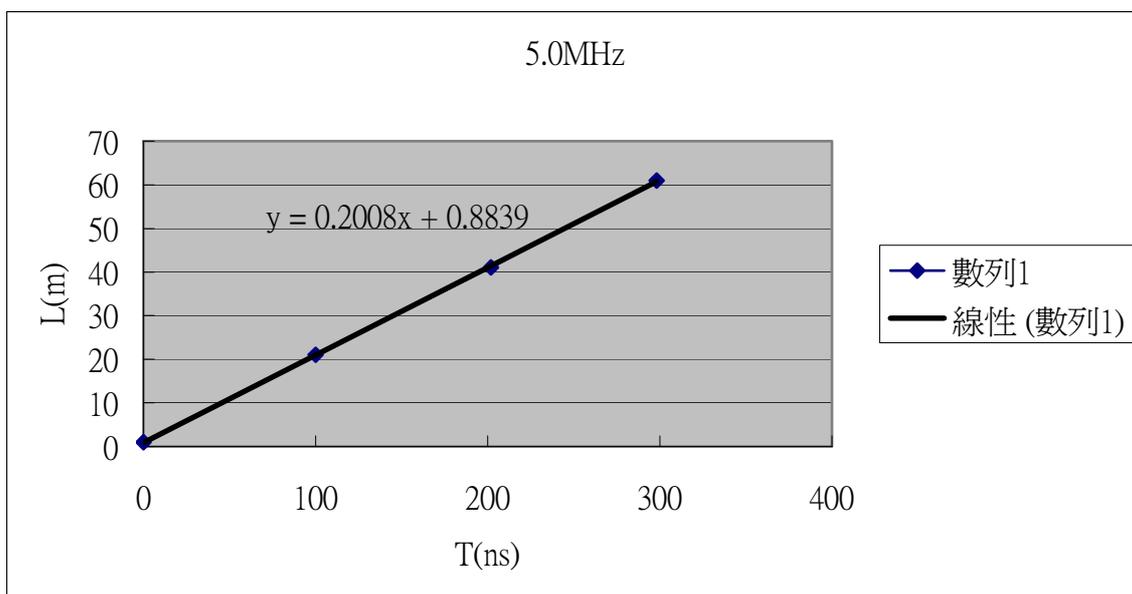
L(公尺) : 21m



L(公尺) : 41m

L(公尺) : 61m

L 光纖長度(m)	T 初(100ns)	T 末(100ns)	△T(100ns)
1.00	0.0	0.0	0.0
21.00	0.0	5.0	5.0
41.00	0.0	10.1	10.1
61.00	0.0	14.9	14.9
$V=2.01 \times 10^8 \text{ m/s}$		$c=2.95 \times 10^8 \text{ m/s}$	



F(MHz)	L(m)	ΔT (ns)	V(m/s)	C(m/s)
1.0 MHz	1.00	0	2.04×10^8	2.99×10^8
	21.00	90		
	41.00	200		
	61.00	290		
1.5 MHz	1.00	0	2.19×10^8	3.21×10^8
	21.00	95		
	41.00	195		
	61.00	270		
2.0 MHz	1.00	0	1.98×10^8	2.90×10^8
	21.00	110		
	41.00	205		
	61.00	305		
2.5 MHz	1.00	0	2.01×10^8	2.95×10^8
	21.00	100		
	41.00	195		
	61.00	300		
3.0 MHz	1.00	0	2.01×10^8	2.95×10^8
	21.00	104		
	41.00	198		
	61.00	300		
3.5 MHz	1.00	0	2.02×10^8	2.96×10^8
	21.00	102		
	41.00	202		
	61.00	296		
4.0 MHz	1.00	0	2.00×10^8	2.93×10^8
	21.00	106		
	41.00	204		
	61.00	300		
4.5 MHz	1.00	0	2.04×10^8	2.99×10^8
	21.00	104		
	41.00	200		
	61.00	294		
5.0 MHz	1.00	0	2.01×10^8	2.95×10^8
	41.00	100		
	21.00	202		
	61.00	298		
頻率範圍		1.0~5.0MHz		單位:m/s
V(m/s)平均值		2.033×10^8		
c(m/s)平均值		2.983×10^8		
V(m/s)標準差		$\pm 0.058 \times 10^8$		
c(m/s)標準差		$\pm 0.085 \times 10^8$		

單位:m/s

輸入訊號頻率 f (MHz)和光速 c (m/s)關係圖(重新實驗)