

DRLO20724

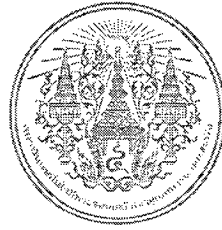


รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยเทคนิคดิจิทัลโฮโลกราฟี
Fingerprint Imaging by Using Digital Holography Technique

ดร. ประธาน บุรณศิริ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย
จาก เงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2556
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยเทคนิคดิจิทัลโฮโลกราฟี
Fingerprint Imaging by Using Digital Holography Technique

ดร. ประธาน บุณศิริ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย
จาก เงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2556
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การถ่ายภาพลายนิ้วมือด้วยเทคนิคดิจิทัลโฮโลกราฟี

แหล่งเงิน เงินรายได้ประเภตส่งเสริมนักวิจัย

ประจำปีงบประมาณ 2556 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2555 ถึง กันยายน 2556

ชื่อ – สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุหน่วยงานต้นสังกัด

หัวหน้าโครงการ ดร.ประธาน บุณศิริ

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอต้นแบบเครื่องสแกนลายนิ้วมือแบบใหม่โดยใช้เทคนิคดิจิทัลโฮโลกราฟี ในการทดลองได้ใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิดเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่นอยู่ที่ 635 นาโนเมตร ดังนั้นจึงได้ทำการวัดความยาวอาพันธ์ของแหล่งกำเนิดแสงก่อน จากนั้นจึงได้ทำการถ่ายภาพโฮโลแกรมของลายนิ้วมือด้วยวิธีการใช้แผ่นแก้วและการใช้ปริซึมในการช่วยสะท้อนภาพ ซึ่งภาพลายนิ้วมือจะถูกบันทึกลงในอุปกรณ์รับภาพ และถูกนำมาสร้างภาพโฮโลแกรม จากผลการวิจัยพบว่าแสงมีความยาวอาพันธ์มากพอที่จะใช้ในการถ่ายภาพโฮโลแกรม และภาพโฮโลแกรมที่สร้างขึ้น มีความชัดเจนกว่าภาพที่ถูกบันทึก นอกจากนี้สามารถวัดความกว้างของร่องนิ้วมือได้อีกด้วย

คำสำคัญ : ดิจิตอลโฮโลกราฟี, ลายนิ้วมือ, ความยาวอาพันธ์สั้น

Research Title: Fingerprint Imaging by Using Digital Holography

Researcher: Prathan Buranasiri (Ph.D)

Faculty: Science Department **Physics**

ABSTRACT

In this paper, we proposed the novel prototype of the portable fingerprint scanner. In this method, the low coherence digital holography technique has been used to verify fingerprints. In our experiment, the Michelson's interferometer has been setup first for determining the coherence length of a laser diode with wave length of 635 nm. In our model, the light transmitted and reflected properties of the glass slide have been applied. Then, the glass slide has been used as beam splitter for separating the light to two beams, which are the reference beam and fingerprint image bearing beam. Moreover, prism has been used to reflect fingerprint pattern. The results show fingerprint pattern, which are reconstructed with numerical method. The holograms of two methods have been comparing.

Keywords: digital holography, fingerprint, low coherence

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญภาพ.....	vi
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และการทบทวนวรรณกรรม.....	3
2.1 โฮโลกราฟี.....	3
2.2 ดิจิตอลโฮโลกราฟี.....	5
2.3 การสแกนลายนิ้วมือ.....	11
2.4 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	12
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	14
3.1 การหาความยาวอาพันธ์ของแหล่งกำเนิดแสง.....	14
3.2 ถ่ายภาพโฮโลแกรมของแผ่นทดสอบ.....	15
3.2.1 แผ่น United State Air Forced (USAF).....	15
3.2.2 แผ่นทดสอบ.....	15
3.3 การถ่ายภาพลายนิ้วมือด้วยเทคนิคดิจิตอลโฮโลกราฟี.....	15
3.3.1 โดยใช้แผ่นแก้ว.....	15
3.3.2 โดยใช้ปริซึม.....	16
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	18
4.1 ความยาวอาพันธ์ของแหล่งกำเนิดแสง.....	19
4.2 ภาพถ่ายโฮโลแกรมของแผ่นทดสอบ.....	20
4.2.1 แผ่น USAF.....	20
4.2.2 แผ่นทดสอบ.....	23
4.3 ภาพถ่ายโฮโลแกรมของลายนิ้วมือ.....	28

	หน้า
4.3.1 โดยใช้แผ่นแก้ว.....	28
4.3.2 โดยใช้ปริซึม.....	34
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	41
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	41
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	41
บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย.....	42
6.1 สรุปรายชื่อผลผลิตงานวิจัย.....	42
เอกสารอ้างอิง.....	43
ภาคผนวก.....	45
ภาคผนวก ก เอกสารผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์.....	46
ภาคผนวก ข สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย.....	54
ประวัตินักวิจัย.....	56

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การบันทึกภาพโฮโลแกรม.....	3
2.2 การอ่านภาพโฮโลแกรม.....	4
2.3 การบันทึกภาพแบบดิจิทัลโฮโลแกรม.....	6
2.4 การสะท้อนกลับของแสงเมื่อกระทบร่องของลายนิ้วมือ.....	11
2.5 การสะท้อนกลับของแสงเมื่อกระทบสันของลายนิ้วมือ.....	12
3.1 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อหาความยาวอาพันธ์.....	14
3.2 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อถ่ายภาพโฮโลแกรมของแผ่น USAF.....	15
3.3 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อถ่ายภาพโฮโลแกรมของแผ่นทดสอบ.....	15
3.4 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อถ่ายภาพลายนิ้วมือโดยใช้แผ่นแก้ว.....	16
3.5 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อถ่ายภาพลายนิ้วมือโดยใช้ปริซึม.....	17
4.1 รีวการการแทรกสอดที่ระยะ 575 มิลลิเมตร.....	18
4.2 รีวการการแทรกสอดที่ระยะ 650 มิลลิเมตร.....	19
4.3 รีวการการแทรกสอดที่ระยะ 725 มิลลิเมตร.....	19
4.4 รีวการการแทรกสอดที่ระยะ 800 มิลลิเมตร.....	20
4.5 รีวการการแทรกสอดที่ระยะ 875 มิลลิเมตร.....	20
4.6 ภาพถ่ายโฮโลแกรมของแผ่น USAF.....	21
4.7 ภาพโฮโลแกรมของแผ่น USAF ที่สร้างขึ้นที่ระยะ 50 มิลลิเมตร.....	21
4.8 ภาพโฮโลแกรมของแผ่น USAF ที่สร้างขึ้นที่ระยะ 100 มิลลิเมตร.....	22
4.9 ภาพโฮโลแกรมของแผ่น USAF ที่สร้างขึ้นที่ระยะ 150 มิลลิเมตร.....	22
4.10 ภาพโฮโลแกรมของแผ่น USAF ที่สร้างขึ้นที่ระยะ 200 มิลลิเมตร.....	23
4.11 ภาพถ่ายโฮโลแกรมของแผ่นทดสอบ.....	24
4.12 ภาพโฮโลแกรมของแผ่นทดสอบ ที่สร้างขึ้นที่ระยะ 50 มิลลิเมตร.....	24
4.13 ภาพโฮโลแกรมของแผ่นทดสอบ ที่สร้างขึ้นที่ระยะ 100 มิลลิเมตร.....	25
4.14 ภาพโฮโลแกรมของแผ่นทดสอบ ที่สร้างขึ้นที่ระยะ 150 มิลลิเมตร.....	25
4.15 ภาพโฮโลแกรมของแผ่นทดสอบ ที่สร้างขึ้นที่ระยะ 200 มิลลิเมตร.....	26
4.16 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.11.....	26
4.17 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.12.....	27
4.18 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.13.....	27
4.19 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.14.....	28

ภาพที่	หน้า
4.20 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.15.....	28
4.21 ภาพถ่ายลายนิ้วมือโดยใช้แผ่นแก้ว.....	29
4.22 ภาพโฮโลแกรมที่สร้างขึ้นที่ระยะ 100 มิลลิเมตร.....	30
4.23 ภาพโฮโลแกรมที่สร้างขึ้นที่ระยะ 148 มิลลิเมตร.....	30
4.24 ภาพโฮโลแกรมที่สร้างขึ้นที่ระยะ 200 มิลลิเมตร.....	31
4.25 ภาพขยายของภาพที่ 4.21.....	31
4.26 ภาพขยายของภาพที่ 4.22.....	32
4.27 ภาพขยายของภาพที่ 4.23.....	32
4.28 ภาพขยายของภาพที่ 4.24.....	33
4.29 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.26.....	33
4.30 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.27.....	34
4.31 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.28.....	34
4.32 ภาพถ่ายลายนิ้วมือโดยใช้ปริซึม.....	35
4.33 ภาพโฮโลแกรมที่สร้างขึ้นที่ระยะ 126 มิลลิเมตร.....	35
4.34 ภาพโฮโลแกรมที่สร้างขึ้นที่ระยะ 150 มิลลิเมตร.....	36
4.35 ภาพโฮโลแกรมที่สร้างขึ้นที่ระยะ 200 มิลลิเมตร.....	36
4.36 ภาพขยายของภาพที่ 4.32.....	37
4.37 ภาพขยายของภาพที่ 4.33.....	37
4.38 ภาพขยายของภาพที่ 4.34.....	38
4.39 ภาพขยายของภาพที่ 4.35.....	38
4.40 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.37.....	39
4.41 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.38.....	39
4.42 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.39.....	40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การศึกษาในระดับจุลทรรศน์นั้นได้ถูกให้ความสนใจมานาน ซึ่งในแรกเริ่มนั้นต้องใช้เลนส์เพื่อขยายขนาดเป็นอุปกรณ์ในการช่วยสังเกต และเมื่อต้องบันทึกภาพดังกล่าว จะต้องทำการถ่ายภาพ อย่างไรก็ตาม การถ่ายภาพโดยทั่วไปนั้นจะสามารถเก็บรายละเอียดของภาพได้เพียงแค่ความเข้มของแสงเท่านั้น ไม่สามารถเก็บรายละเอียดของความชัดลึกได้ จึงได้มีการคิดค้นการถ่ายภาพด้วยเทคนิคใหม่ที่สามารถเก็บรายละเอียดของภาพได้ทั้งความเข้มและความชัดลึก ซึ่งเรียกว่า “โฮโลแกรม” ซึ่งการถ่ายภาพโฮโลแกรมนี้จะใช้แสงสองลำ ลำหนึ่งเรียกว่าแสงอ้างอิง และอีกลำหนึ่งเรียกว่าแสงวัตถุซึ่งเกิดจากการสะท้อนวัตถุ จากนั้นแสงทั้งสองลำนี้จะมาแทรกสอดและถูกบันทึกลงบนแผ่นฟิล์ม

ต่อมาภายหลังได้มีการให้ความสนใจในเทคโนโลยีของสารกึ่งตัวนำเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีการพัฒนาการวิจัยดังกล่าวอย่างกว้างขวาง จึงได้มีการผลิตอุปกรณ์รับภาพออกมา ซึ่งที่แพร่หลายในปัจจุบันมี 2 ชนิดคือ Charge Couple Devices (CCD) และ Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) และต่อมาได้มีการนำอุปกรณ์รับภาพดังกล่าวมาใช้ในการถ่ายภาพโฮโลแกรม ต่อมาถูกเรียกว่า “ดิจิตอลโฮโลกราฟี”

ดิจิตอลโฮโลกราฟีได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในหลายๆด้าน เช่น การวัดความความผิดเพี้ยนในวัสดุ การวิเคราะห์การสั่น การจดจำภาพของวัตถุ การศึกษาในระดับจุลทรรศน์ และการจำแนกอนุภาค ซึ่งหนึ่งในการประยุกต์ที่น่าสนใจของการศึกษาในระดับจุลทรรศน์คือการเก็บภาพลายนิ้วมือ มีหลากหลายวิธีในการเก็บภาพลายนิ้วมือเช่นใช้คลื่นเสียงความถี่สูง ใช้หลักความเก็บประจุ และใช้แสง ในการใช้แสงช่วยในการเก็บภาพลายนิ้วมือนั้นโดยทั่วไปจะเก็บภาพลายนิ้วมือได้เพียงแค่ลายนิ้วมือที่มือประกอบเพียงความเข้มของแสง ซึ่งทำให้ภาพลายนิ้วมือที่ได้นั้นมีรายละเอียดไม่ชัดเท่าที่ควร

ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการถ่ายภาพลายนิ้วมือโดยใช้เทคนิคดิจิตอลโฮโลกราฟี เพื่อที่จะเก็บรายละเอียดของลายนิ้วมือได้ทั้งความเข้มและความชัดลึก โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวอาพันธ์สั้น ซึ่งหาง่ายและมีราคาไม่สูง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการของดิจิตอลโฮโลกราฟี

1.2.2 เพื่อใช้ดิจิตอลโฮโลกราฟีถ่ายภาพลายนิ้วมือ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ใช้ดิจิทัลโฮโลกราฟีในการถ่ายภาพลายนิ้วมือ โดยใช้เลเซอร์ชนิดก๊าซฮีเลียมนีออน ความยาวคลื่น 633 นาโนเมตรเป็นแหล่งกำเนิดแสงเพื่อใช้ในการถ่ายภาพโฮโลแกรม โดยความเข้มและเฟสของแสงของลายนิ้วมือจะถูกบันทึกลงบนเซนเซอร์รับแสงชนิด Charge Couple Device (CCD) จากนั้นข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมาสร้างเป็นภาพถ่ายโฮโลแกรมของลายนิ้วมือด้วยระเบียบวิธีทางคณิตศาสตร์

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและหลักการของการถ่ายภาพลายนิ้วมือ และดิจิทัลโฮโลกราฟี
- 1.4.2 ทำการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อวัดความยาวอาพันธ์ของแหล่งกำเนิดแสง
- 1.4.3 ถ่ายภาพโฮโลแกรมของแผ่น USAF และทำการสร้างภาพโฮโลแกรมของแผ่นดังกล่าว
- 1.4.4 ถ่ายภาพโฮโลแกรมของแผ่นทดสอบ และทำการสร้างภาพโฮโลแกรมของแผ่นดังกล่าว
- 1.4.5 ทำการถ่ายภาพลายนิ้วมือโดยใช้แผ่นแก้ว พร้อมทั้งสร้างภาพโฮโลแกรมด้วยระยะต่างๆ
- 1.4.6 ทำการถ่ายภาพลายนิ้วมือโดยใช้ปริซึม พร้อมทั้งสร้างภาพโฮโลแกรมด้วยระยะต่างๆ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้รับความรู้ความเข้าใจในการถ่ายภาพด้วยเทคนิคดิจิทัลโฮโลกราฟี
- 1.5.2 ได้ภาพถ่ายลายนิ้วมือที่มีรายละเอียดดีกว่าเดิม

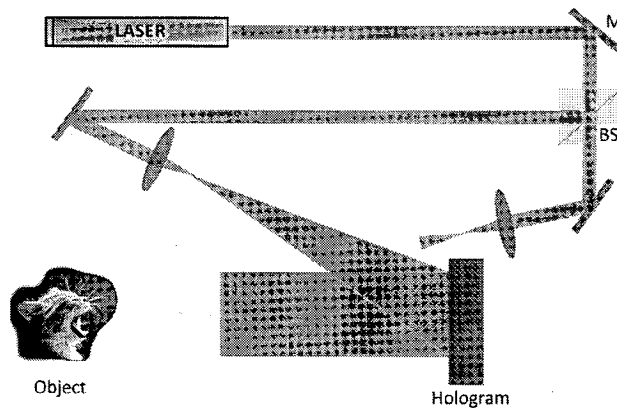
บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และการทบทวนวรรณกรรม

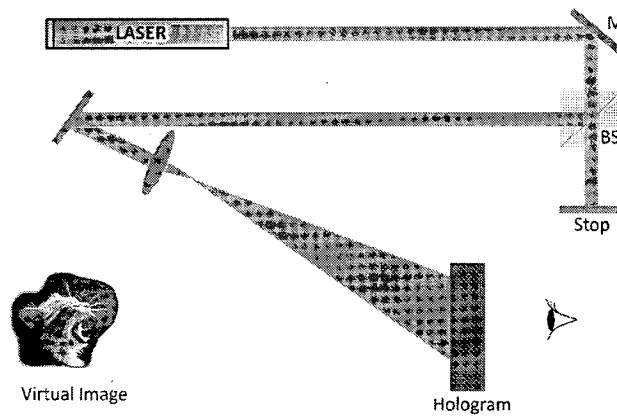
2.1 โฮโลกราฟี

การถ่ายภาพโฮโลแกรมคือการถ่ายภาพที่มีการจัดอุปกรณ์ทางแสงโดยประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์(เลเซอร์) กระจกและเลนส์สำหรับการจัดลำแสง แผ่นฟิล์มสำหรับบันทึกภาพ ดังแสดงในภาพที่ 2.1 แสงอาพันธ์จากแหล่งกำเนิดถูกแยกเป็นสองลำแสงโดยบีมสปลิตเตอร์ ซึ่งลำแสงหนึ่งจะตกกระทบวัตถุ แล้วเกิดการกระเจิงและสะท้อนที่ผิวของวัตถุไปยังแผ่นบันทึกภาพ ส่วนอีกลำแสงหนึ่งเรียกว่าลำแสงอ้างอิง จะถูกบันทึกไปยังแผ่นบันทึกภาพโดยตรง ลำแสงทั้งสองลำจะเกิดการแทรกสอดกันที่แผ่นฟิล์มบันทึกภาพ เกิดเป็นริ้วการแทรกสอดขึ้นมา

ในการสร้างภาพโฮโลแกรมจะใช้ลำแสงอ้างอิงส่องไปที่แผ่นบันทึกภาพดังภาพที่ 2.2 ผู้สังเกตจะเห็นภาพเสมือนซึ่งไม่มีความแตกต่างจากวัตถุจริงทั้งทัศนียภาพและระยะชัดลึก



ภาพที่ 2.1 การบันทึกภาพโฮโลแกรม



ภาพที่ 2.2 การอ่านภาพโฮโลแกรม

กระบวนการถ่ายภาพโฮโลแกรมสามารถอธิบายได้ด้วยคณิตศาสตร์ของการรวมคลื่น โดยสนามไฟฟ้าของลำแสงวัตถุสามารถเขียนได้เป็น

$$E_o = a_o(x, y) \exp(i\phi_o(x, y)) \quad (1)$$

และสนามไฟฟ้าของลำแสงอ้างอิงคือ

$$E_R = a_R(x, y) \exp(i\phi_R(x, y)) \quad (2)$$

ซึ่งลำแสงทั้งสองลำจะเกิดการแทรกสอดกันที่ผิวของแผ่นบันทึกภาพ โดยสามารถคำนวณความเข้มแสงได้จาก

$$\begin{aligned} I(x, y) &= |E_o(x, y) + E_R(x, y)|^2 \\ &= (E_o(x, y) + E_R(x, y))(E_o(x, y) + E_R(x, y))^* \\ &= E_R(x, y)E_R^*(x, y) + E_o(x, y)E_o^*(x, y) + E_o(x, y)E_R^*(x, y) + E_R(x, y)E_o^*(x, y) \end{aligned} \quad (3)$$

การส่งผ่านแอมพลิจูด $h(x,y)$ ของแผ่นบันทึกภาพจะเป็นสัดส่วนกับ $I(x,y)$ ดังนี้

$$h(x,y) = h_0 + \beta I(x,y) \quad (4)$$

ในการสร้างภาพโฮโลแกรมนั้นการส่งผ่านแอมพลิจูดจะถูกคูณด้วยสนามไฟฟ้าของลำแสงอ้างอิง ดังสมการที่ 5

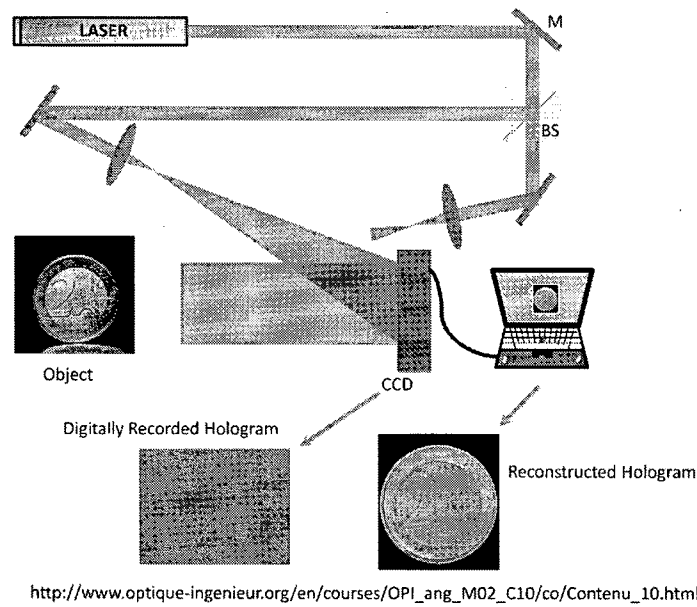
$$E_R(x,y)h(x,y) = [h_0 + \beta \tau (a_R^2 + a_O^2)] E_R(x,y) + \beta \tau a_R^2 E_O(x,y) + \beta \tau E_R^2(x,y) E_O^*(x,y) \quad (5)$$

พบว่าด้านขวาของสมการจะประกอบด้วยสนามไฟฟ้าสามเทอม เทอมแรกคือสนามไฟฟ้าของลำแสงอ้างอิง เทอมที่สองคือสนามไฟฟ้าของภาพเสมือน และเทอมสุดท้ายคือสนามไฟฟ้าของภาพจริงที่ผิดรูป ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ภาพจริงเกิดการผิดรูปคือความแปรปรวนของสนามไฟฟ้าโดยตำแหน่ง $E_R^2(x,y)$ ที่ผสมเข้ามากับสนามไฟฟ้าของภาพจริง อย่างไรก็ตามภาพจริงที่ผิดรูปนี้สามารถแก้ได้โดยใช้แสงคอนจูเกตในการสร้างภาพโฮโลแกรม ดังสมการที่ 6

$$E_R^*(x,y)h(x,y) = [h_0 + \beta \tau (a_R^2 + a_O^2)] E_R^*(x,y) + \beta \tau a_R^2 E_O^*(x,y) + \beta \tau E_R^2(x,y) E_O(x,y) \quad (6)$$

2.2 ดิจิตอลโฮโลกราฟี

เนื่องจากการถ่ายโฮโลแกรมแบบเดิมมีข้อจำกัดคือแผ่นรับแสงที่ทำจากฟิล์มสามารถใช้ได้เพียงครั้งเดียว ดิจิตอลโฮโลกราฟีจึงถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว โดยการใช้กล้องดิจิตอลเป็นตัวบันทึกข้อมูลภาพที่ประกอบด้วยเฟสและแอมพลิจูดดังภาพที่ 2.3 ข้อมูลภาพจะถูกเก็บลงบนคอมพิวเตอร์ผ่านอุปกรณ์รับภาพที่เรียกว่า Charge Couple Devices (CCD) ซึ่งข้อมูลภาพนี้จะถูกนำไปสร้างเป็นภาพโฮโลแกรมด้วยระเบียบวิธีทางคณิตศาสตร์



ภาพที่ 2.3 การบันทึกภาพแบบดิจิตอลโฮโลแกรม

โดยธรรมชาติเมื่อแสงเดินทางผ่านช่องหรือขอบของวัตถุ จะเกิดการเลี้ยวเบนขึ้น ซึ่งอธิบายหน้าคลื่นของการเลี้ยวเบนด้วยสมการของเฟรสเนลล์เคอร์ชอฟฟ์ ดังสมการที่ 7

$$\Gamma(\xi, \eta) = \frac{i}{\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y) E_R(x, y) \frac{\exp(-i\frac{2\pi}{\lambda})\rho'}{\rho'} dx dy \quad (7)$$

โดย

$$\rho' = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + d^2} \quad (8)$$

$h(x, y)$ คือฟังก์ชันโฮโลแกรม และ ρ' คือระยะทางระหว่างจุดในระนาบโฮโลแกรมและจุดในระนาบรีคอนสตรัคชัน ปริมาณทางเรขาคณิตอธิบายไว้ในรูปที่ 4 ปัจจัยความโน้มเอียงถูกตั้งค่าไว้ที่ 1 เพราะมุม θ และ θ' มีค่าประมาณ 0 ค่านี้ถูกต้องสำหรับการคำนวณรีคอนสตรัคชันทั้งหมดในหนังสือเล่มนี้ สำหรับระนาบคลื่นอ้างอิง $E_R(x, y)$ ถูกเขียนง่ายๆโดยแอมพลิจูดที่แท้จริง

$$E_R = a_R + i0 = a_R \quad (9)$$

สวทลายของการเลี้ยวเบนถูกคำนวณที่ระยะ d หลังระนาบ CCD ซึ่งหมายความว่ามันรีคอนสตรัคชันแอมพลิจูดเชิงซ้อนในระนาบของภาพจริง

สมการที่ 7 คือพื้นฐานของรีคอนสตรัคชันโฮโลแกรมเชิงตัวเลข เพราะสนามคลื่นรีคอนสตรัคชันเป็นฟังก์ชันเชิงซ้อน ทั้งความเข้มรวมทั้งเฟสสามารถคำนวณได้ นี่คือการเปรียบเทียบในกรณีของออฟติคัลโฮโลแกรมรีคอนสตรัคชัน ซึ่งมีเพียงความเข้มเท่านั้นที่มองเห็นได้ คุณสมบัติที่น่าสนใจของดิจิตอลโฮโลกราฟีนี้ถูกใช้ในดิจิตอลโฮโลกราฟี อินเทอร์เน็ตโรเมทรี่

ภาพจริงอาจจะเกิดการบิดเบือน และภาพจริงที่ไม่เกิดการบิดเบือนสามารถสร้างได้โดยการผันลำแสงอ้างอิงสำหรับรีคอนสตรัคชัน เพื่อที่จะรีคอนสตรัคชันภาพจริงที่ไม่บิดเบือนในดิจิตอลโฮโลกราฟี ดังนั้นจึงจำเป็นในการแทรก E_R^* แทนที่ E_R ในสมการที่ 7

$$\Gamma(\xi, \eta) = \frac{i}{\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y) E_R^*(x, y) \frac{\exp(-i\frac{2\pi}{\lambda}\rho)}{\rho} dx dy \quad (10)$$

โดย

$$\rho = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + d^2} \quad (11)$$

แบบแผนของการรีคอนสตรัคชันแสดงในรูปที่ 2.3(c) ภาพจริงจะปรากฏอยู่ที่ตำแหน่งนั้น เมื่อวัตถุถูกติดตั้งในระหว่างการบันทึก มันควรจะกล่าวถึงสำหรับระนาบคลื่นอ้างอิงที่กำหนดไว้ในสมการที่ (9) สูตรทั้งสองของการรีคอนสตรัคชัน สมการที่ 7 และ 10 จะเท่ากันเพราะ $E_R = E_R^* = a_R$

การติดตั้งในรูปที่ 3 กับระนาบคลื่นอ้างอิงจะกระทบในแนวตั้งฉากบน CCD มักจะถูกใช้บ่อยๆในดิจิตอลโฮโลกราฟี การบันทึกทางเรขาคณิตอื่นๆจะกล่าวถึงในภายหลัง

การรีคอนสตรัคชันของภาพจริงจะเป็นไปได้โดยการแนะนำคุณสมบัติการถ่ายภาพของเลนส์ไปยังกระบวนการรีคอนสตรัคชันเชิงตัวเลข เลนส์นี้สอดคล้องกับเลนส์ตาของการมองของผู้สังเกตผ่านออฟติคัลรีคอนสตรัคชันโฮโลแกรม ในกรณีที่ง่ายที่สุด เลนส์นี้จะถูกติดตั้งโดยตรงหลังโฮโลแกรม ในรูปที่ 5 คุณสมบัติการถ่ายภาพของเลนส์กับความยาวโฟกัส f จะถูกพิจารณาโดยตัวประกอบเชิงซ้อน

$$L(x, y) = \exp\left[i \frac{\pi}{\lambda f} (x^2 + y^2)\right] \quad (12)$$

ตัวประกอบนี้จะถูกคำนวณโดยแอนเน็กซ์ บี 1 สำหรับการขยายของ 1 ระยะโฟกัสของ $f=d/2$ จะถูกนำมาใช้

เลนส์ถูกบรรยายไว้ในสมการที่ 10 เพราะความผิดปกติของเฟส ซึ่งสามารถแก้ไขโดยการคูณสนามคลื่นรีคอนสตรัคชันโดยตัวประกอบ

$$P(\xi, \eta) = \exp\left[i \frac{\pi}{\lambda f} (\xi + \eta)\right] \quad (13)$$

การแก้ไขตัวประกอบจะถูกพิสูจน์ในแอนเนกซ์ บี 2 สูตรเต็มของรีคอนสตรัคชันผ่านเลนส์เหมือนกับ $f=d/2$ ดังนั้น

$$\Gamma(\xi, \eta) = \frac{i}{\lambda} P(\xi, \eta) \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y) E_R(x, y) L(x, y) \frac{\exp\left(-i\frac{2\pi}{\lambda}\rho\right)}{\rho} dx dy \quad (14)$$

2.2.1 รีคอนสตรัคชันเชิงตัวเลข

รีคอนสตรัคชันโดยใช้การประมาณของเฟรชเนล

สำหรับค่าของ x และ y ตลอดจนค่า ρ ซึ่งจะมีค่าน้อยถ้าเทียบกับระยะทาง d ระหว่างระนาบรีคอนสตรัคชันและ CCD การแสดงออกของสมการที่ 11 สามารถขยายได้โดยอนุกรมเทเลอร์

$$\rho = d + \frac{(\xi-x)^2}{2d} + \frac{(\eta-x)^2}{2d} - \frac{1}{8} \frac{[(\xi-x)^2 + (\eta-x)^2]^2}{d^3} + \dots \quad (15)$$

เทอมที่ 4 สามารถตัดทิ้งไปได้ ถ้ามันมีค่าน้อยเทียบกับความยาวคลื่น

$$\frac{1}{8} \frac{[(\xi-x)^2 + (\eta-x)^2]^2}{d^3} \ll \lambda \quad (16)$$

หรือ

$$d \gg \sqrt[3]{\frac{1}{8} \frac{[(\xi-x)^2 + (\eta-x)^2]^2}{d^3}} \quad (17)$$

เมื่อระยะ ρ ประกอบด้วยเทอมเชิงเส้นและสมการกำลังสอง

$$\rho = d + \frac{(\xi-x)^2}{2d} + \frac{(\eta-x)^2}{2d} \quad (18)$$

โดยการเพิ่มเติมการประมาณของการแทนที่การหารในสมการที่ (10) โดย d แสดงผลรวมสำหรับรีคอนสตรัคชันของภาพจริงดังนี้

$$\Gamma(\xi, \eta) = i \frac{i}{\lambda d} \exp\left(-i\frac{2\pi}{\lambda} d\right) \times \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_R^*(x, y) h(x, y) \exp\left[-i\frac{\pi}{\lambda d} ((\xi-x)^2 + (\eta-x)^2)\right] dx dy \quad (19)$$

ถ้าการคูณในอาร์กิวเมนต์ของเอ็กโพเนนเชียลภายใต้การอินทิเกรตดำเนินการอย่างหนึ่งจะได้

$$\Gamma(\xi, \eta) = i \frac{i}{\lambda d} \exp\left(-i \frac{2\pi}{\lambda} d\right) \exp\left[-i \frac{\pi}{\lambda d} ((\xi^2 + \eta^2))\right] \times \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_R^*(x, y) h(x, y) \exp\left[-i \frac{\pi}{\lambda d} (x^2 + y^2)\right] \exp\left[-i \frac{\pi}{\lambda d} (x\xi + y\eta)\right] dx dy \quad (20)$$

สมการนี้มีชื่อว่าการประมาณค่าของเฟรสเนลหรือการแปลงรูปของเฟรสเนลเนื่องจากความคล้ายคลึงกันทางคณิตศาสตร์ของต้นกับการแปลงฟูเรียร์ มันช่วยให้การรีคอนสตรัคชันของสนามคลื่นในระนาบหลังโฮโลแกรม ในกรณีนี้คือในระนาบของภาพจริง

ความเข้มสามารถคำนวณได้โดยการยกกำลัง

$$I(\xi, \eta) = |\Gamma(\xi, \eta)|^2 \quad (21)$$

เฟสสามารถคำนวณโดย

$$\varphi(\xi, \eta) = \arctan \frac{\text{Im}[\Gamma(\xi, \eta)]}{\text{Re}[\Gamma(\xi, \eta)]} \quad (22)$$

Re แสดงส่วนจริงและ Im คือส่วนที่สมมติขึ้น

สูตรการรีคอนสตรัคชันสำหรับภาพเสมือนในการประมาณค่าเฟรสเนลคือ

$$\Gamma(\xi, \eta) = i \frac{i}{\lambda d} \exp\left(-i \frac{2\pi}{\lambda} d\right) \exp\left[-i \frac{\pi}{\lambda d} ((\xi^2 + \eta^2))\right] P(\xi, \eta) \times \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_R^*(x, y) L(x, y) h(x, y) \exp\left[-i \frac{\pi}{\lambda d} (x^2 + y^2)\right] \exp\left[-i \frac{2\pi}{\lambda d} (x\xi + y\eta)\right] dx dy \quad (23)$$

สำหรับการดัดแปลงของการแปลงรูปเฟรสเนล ในสมการที่ 20 แทนการนำเสนอต่อไปนี้

$$v = \frac{\xi}{\lambda d}; \quad \mu = \frac{\eta}{\lambda d} \quad (24)$$

พร้อมกันนี้ สมการที่ 20 จะกลายเป็น

$$\Gamma(v, \mu) = i \frac{i}{\lambda d} \exp\left(-i \frac{2\pi}{\lambda} d\right) \exp\left[-i \frac{\pi}{\lambda d} ((v^2 + \mu^2))\right] \times \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_R^*(x, y) h(x, y) \exp\left[-i \frac{\pi}{\lambda d} (x^2 + y^2)\right] \exp[i2\pi(xv + y\mu)] dx dy \quad (25)$$

การเปรียบเทียบของสมการที่ 25 โดยคำนายของการแปลงรูปฟูเรียร์สองมิติแสดงในการประมาณค่าของเฟสแนจนถึงตัวประกอบเฟสที่เป็นทรงกลมคือการผกผันการแปลงรูปฟูเรียร์ของฟังก์ชัน

$$E_R^*(x, y)h(x, y) \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_R^*(x, y)h(x, y) \exp \left[-i \frac{\pi}{\lambda d} (x^2 + y^2) \right] :$$

$$\Gamma(v, \mu) = i \frac{i}{\lambda d} \exp \left(-i \frac{2\pi}{\lambda} d \right) \exp[-i\pi\lambda d(v^2 + \mu^2)] \times \mathcal{F}^{-1} \left\{ E_R^*(x, y)h(x, y) \exp \left[-i \frac{\pi}{\lambda d} (x^2 + y^2) \right] \right\} \quad (26)$$

ฟังก์ชันแกมมาสามารถทำเป็นดิจิตอลถ้าโฮโลแกรมฟังก์ชัน $h(x, y)$ คือ ตัวอย่างเมื่อแรสเตอร์เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ของจุด $N \times N$ โดยขั้นตอน $\Delta x, \Delta y$ ตามพิกัด $\Delta x, \Delta y$ คือระยะระหว่างพิกเซลเพื่อนบ้านใน CCD ในแนวตั้งและแนวนอน ด้วยค่าที่ไม่ต่อเนื่องเหล่านี้ อินทิกรัลของสมการที่ 25 แปลงเป็นผลรวม

$$\Gamma(m, n) = i \frac{i}{\lambda d} \exp \left(-i \frac{2\pi}{\lambda} d \right) \exp[-i\pi\lambda d(v^2 + \mu^2)] \times \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} E_R^*(k, l)h(k, l) \exp \left[-i \frac{\pi}{\lambda d} (k^2 \Delta x^2 + l^2 \Delta y^2) \right] \exp \left[i2\pi \left(\frac{km}{N} + \frac{ln}{N} \right) \right] \quad (27)$$

สำหรับ $m=0,1,...,N-1; n=0,1,...,N-1$

ตามทฤษฎีของการแปลงฟูเรียร์ท่ามกลาง $\Delta x, \Delta y$ และ $\Delta v, \Delta \mu$

$$\Delta v = \frac{1}{N\Delta x} ; \quad \Delta \mu = \frac{1}{N\Delta y} \quad (28)$$

หลังจากแทนค่าอีกครั้ง

$$\Delta \xi = \frac{\lambda d}{N\Delta x} ; \quad \Delta \eta = \frac{\lambda d}{N\Delta y} \quad (29)$$

ใช้สมการเหล่านี้ (27) เปลี่ยนเป็น

$$\Gamma(m, n) = i \frac{i}{\lambda d} \exp \left(-i \frac{2\pi}{\lambda} d \right) \exp \left[-i\pi\lambda d \left(\frac{m^2}{N\Delta x^2} + \frac{n^2}{N\Delta y^2} \right) \right] \times \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} E_R^*(k, l)h(k, l) \exp \left[-i \frac{\pi}{\lambda d} (k^2 \Delta x^2 + l^2 \Delta y^2) \right] \exp \left[i2\pi \left(\frac{km}{N} + \frac{ln}{N} \right) \right] \quad (30)$$

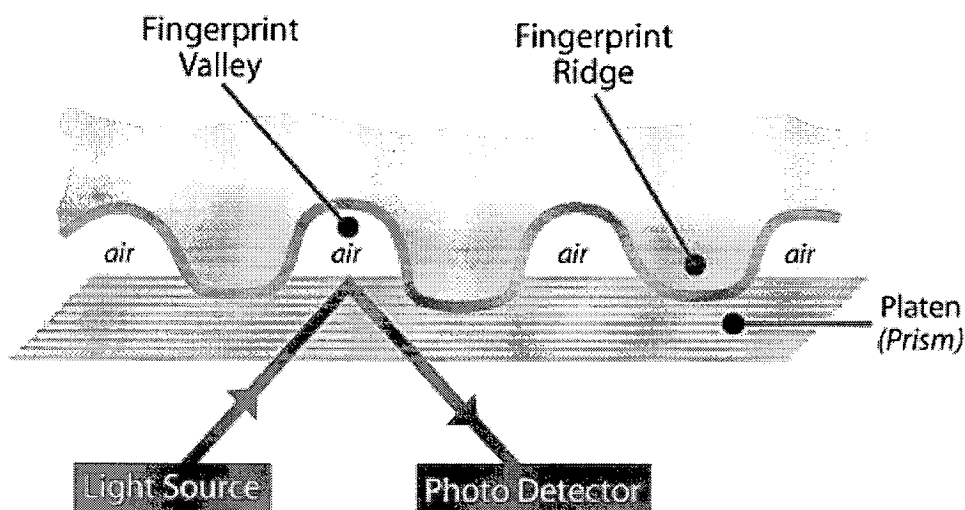
นี่คือการแปลงเฟสเรลที่ไม่ต่อเนื่อง แมทริกซ์แกมมาถูกคำนวณโดยการคูณ $Er^*(k,l)$ กับ $h(k,l)$ และ $\exp$ และประยุกต์การผกผันโดยใช้ขั้นตอนการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว ตัวประกอบข้างหน้าของผลรวมมีผลเพียงกับเฟสทั้งหมดและสามารถตัดทิ้งไปได้ ถ้าเพียงแต่ความเข้มตามสมการที่ (22) เป็นที่น่าสนใจ นอกจากนี้ยังมีกรณีถ้าความต่างเฟสระหว่างการบันทึกโฮโลแกรมด้วยความยาวคลื่นเดิมจะถูกคำนวณ และสูตรที่สอดคล้องกันโดยสิ้นเชิงสำหรับรีคอนสตรัคชันผ่านทางเลนส์เสมือนด้วย $f=d/2$ คือ

$$\Gamma(m,n) = i \frac{i}{\lambda d} \exp\left(-i \frac{2\pi}{\lambda} d\right) \exp\left[+i\pi\lambda d \left(\frac{m^2}{N\Delta x^2} + \frac{n^2}{N\Delta y^2}\right)\right] \times$$

$$\sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} E_R(k,l) h(k,l) \exp\left[-i \frac{\pi}{\lambda d} (k^2 \Delta x^2 + l^2 \Delta y^2)\right] \exp\left[i2\pi \left(\frac{km}{N} + \frac{ln}{N}\right)\right] \quad (31)$$

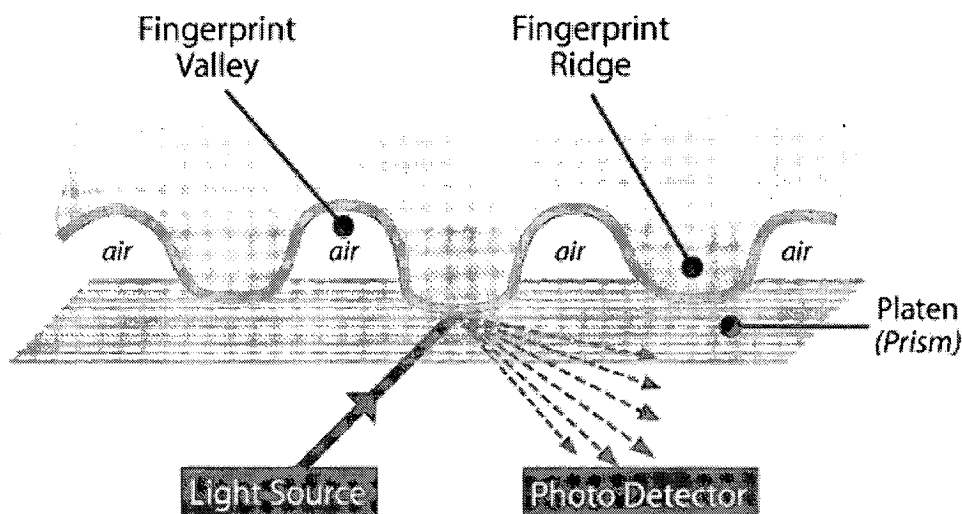
2.3 การสแกนลายนิ้วมือ

หลักการสแกนลายนิ้วมือนั้นใช้การประยุกต์ทฤษฎีการสะท้อนกลับหมด จากภาพที่ 2.4 จะพบว่าเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านกระจกที่วางนิ้วมือจะเกิดการหักเห และเกิดการสะท้อนกลับหมดภายในชั้นระหว่างกระจกกับอากาศ ซึ่งเป็นที่ตำแหน่งที่มีร่องของลายนิ้วมืออยู่ และแสงจะไม่เกิดการสะท้อนกลับที่บริเวณสันของลายนิ้วมื่อดังภาพที่ 2.5 ดังนั้นเมื่อนำแสงที่สะท้อนมาแสดงลายนิ้วมือจะพบว่าบริเวณร่องของลายนิ้วมือจะได้รั้วสีขาว (มีแสงมาที่อุปกรณ์รับภาพ) และบริเวณที่เป็นสันของลายนิ้วมือจะได้รั้วที่เป็นสีดำนั่นเอง



ภาพที่ 2.4 การสะท้อนกลับของแสงเมื่อกระทบร่องของลายนิ้วมือ

ที่มา : <http://www.ultra-scan.com>



ภาพที่ 2.5 การสะท้อนกลับของแสงเมื่อกระทบสันของลายนิ้วมือ
ที่มา : <http://www.ultra-scan.com>

2.4 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

โฮโลกราฟีถูกคิดค้นขึ้นเป็นครั้งแรกในปี 1948 โดย Denis Gabor ซึ่งเป็นการบันทึกและอ่านภาพที่ประกอบด้วยเฟสและแอมพลิจูด [1-3] อย่างไรก็ตามการทดลองของ Gabor นั้นต้องใช้ลำแสงที่ขนานกันในการบันทึกภาพ ต่อมา Leith และ Upatnieks ได้ใช้วิธีบันทึกโดยแสงทั้ง 2 ลำไม่ขนานกัน [4-5] โฮโลกราฟีได้ถูกนำมาใช้ตรวจสอบการเคลื่อนไหวที่เปลี่ยนแปลงในระดับไมโครเมตร เทคนิคที่นำมาใช้ตรวจสอบนี้เรียกว่า Holographic Interferometry ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย Stetson, Powell [6-7]

หลังจากที่คอมพิวเตอร์ถูกสร้างขึ้น โฮโลแกรมได้ถูกนำมาบันทึกและสร้างภาพขึ้นในคอมพิวเตอร์โดยใช้ระเบียบวิธีทางคณิตศาสตร์ ซึ่งใช้ชื่อว่า Computer Generated Holography (CGH) ซึ่งเทคนิคการใช้ระเบียบวิธีทางคณิตศาสตร์ในการสร้างภาพนี้ถูกริเริ่มโดย Goodman และ Lawrence [8] และ Yaroslavskii *et al.* [9] ต่อมา Onural และ Scott ได้ปรับปรุงระเบียบวิธีการสร้างภาพเพื่อให้สามารถใช้วัดขนาดอนุภาคได้ [10-12] หลังจากนั้น Haddad *et al.* ได้อธิบายการถ่ายโฮโลแกรมด้วยกล้องจุลทรรศน์ [13]

นับตั้งแต่เซนเซอร์รับภาพชนิด CCD และ CMOS ถูกคิดค้นขึ้น การถ่ายภาพโฮโลแกรมได้ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว เพราะไม่ต้องเสียเวลาในการบันทึกภาพลงแผ่นฟิล์ม และขั้นตอนการล้างฟิล์ม การบันทึกภาพผ่านเซนเซอร์ไปยังคอมพิวเตอร์นี้ Schanrs และ Juptner เรียกว่า direct holography [14, 15] ต่อมาวิธีดังกล่าวได้ถูกยอมรับในชื่อ ดิจิตอลโฮโลกราฟี (Digital Holography)

ดิจิตอลโฮโลกราฟีได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้หลายๆ ด้านดังนี้

ใช้ในการตรวจสอบรูปร่างและความผิดปกติ

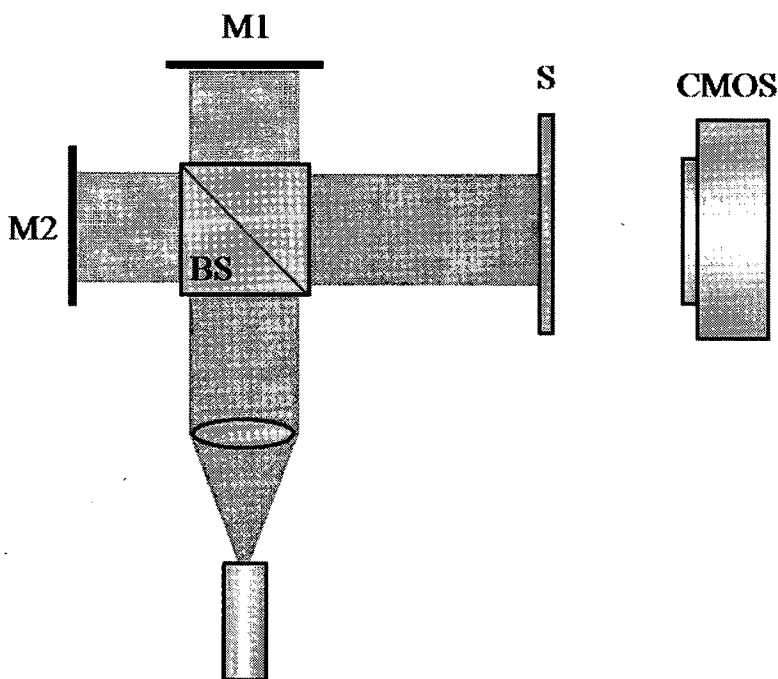
ดิจิตอลโฮโลกราฟีได้ถูกนำมาใช้ในการควบคุมคุณภาพและการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ โดยไม่ทำลายพื้นผิวของชิ้นงาน เช่นงานในด้าน Reverse engineering ที่เป็นการค้นหาโครงสร้าง ฟังก์ชันการทำงานของอุปกรณ์ระบบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแยกชิ้นส่วนของอุปกรณ์ออกจากกัน เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างรวมถึงข้อบกพร่องในแต่ละส่วน [16] โดยเทคนิค Digital holography เป็นเทคนิคที่มีข้อเด่น คือนอกจากความเข้มและสีที่จะได้รับแล้ว ยังสามารถบันทึกเฟส (phase) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ทำให้สามารถสร้างกลับหน้าคลื่นของแสง ทำให้เหมือนหรือคล้ายกับที่สะท้อนออกจากวัตถุมาเข้าตาเราโดยตรง ซึ่งภาพที่ได้จะมีลักษณะเป็นแบบ 3 มิติ [17]

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การหาความยาวอาพันธ์ของแหล่งกำเนิดแสง

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ใช้เลเซอร์ไดโอดเป็นแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งมีความยาวอาพันธ์สั้นกว่าเลเซอร์ชนิดที่เป็นก๊าซ และในการถ่ายภาพโฮโลแกรมนั้นจำเป็นต้องใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความเป็นอาพันธ์ ดังนั้นจึงต้องทำการหาความยาวอาพันธ์ของแหล่งกำเนิดแสงดังกล่าวก่อน โดยใช้การทดลองของไมเคิลสัน (Michelson interferometer) ซึ่งมีการจัดออปกรณ์ดังภาพที่ 3.1 แสงจากเลเซอร์ไดโอด ที่มีกำลัง 5 มิลลิวัตต์ และมีความยาวคลื่น 635 นาโนเมตร ถูกขยายด้วยเลนส์นูนความยาวโฟกัส 175 มิลลิเมตร และถูกแยกเป็นสองลำด้วยบีมสปลิตเตอร์ซึ่งห่างจากเลนส์นูน 225 มิลลิเมตร โดยระยะห่างระหว่างบีมสปลิตเตอร์ถึงกระจก M1 และ M2 คือ 50 มิลลิเมตร และระยะห่างจากบีมสปลิตเตอร์ถึงฉาก S คือ 75 มิลลิเมตร ดังนั้นระยะทางทั้งหมดจากเลเซอร์ถึงฉากคือ 575 มิลลิเมตร และทำการเลื่อนฉากออกครั้งละ 75 มิลลิเมตร จนถึง 875 มิลลิเมตร เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงริ้วการแทรกสอด โดยใช้กล้องดิจิทัลถ่ายรูปริ้วการแทรกสอดดังกล่าว

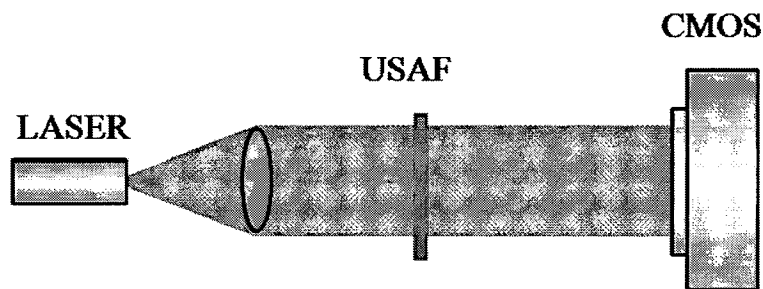


ภาพที่ 3.1 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อหาความยาวอาพันธ์

3.2 ถ่ายภาพโฮโลแกรมของแผ่นทดสอบ

3.2.1 แผ่น United State Air force (USAF)

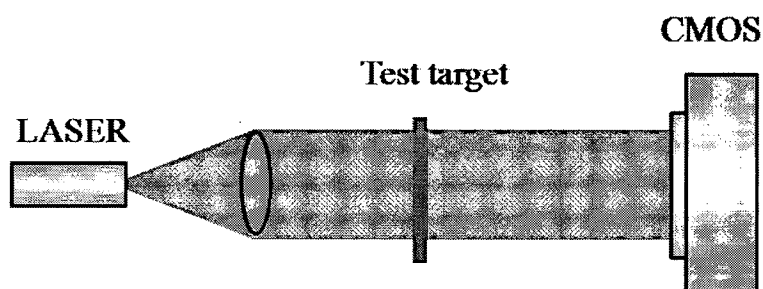
ทำการทดลองโดยติดตั้งอุปกรณ์ดังภาพที่ 3.2 โดยใช้เลนส์นูนความยาวโฟกัส 175 มิลลิเมตร ขยายลำแสง และให้แสงผ่านแผ่นทดสอบ จากนั้นจึงบันทึกลงกล้องถ่ายภาพ ซึ่งกล้องถ่ายภาพวางห่างจากแผ่น USAF เป็นระยะ 150 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3.2 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อถ่ายภาพโฮโลแกรมของแผ่น USAF

3.2.2 แผ่นทดสอบ

ทำการทดลองโดยติดตั้งอุปกรณ์ดังภาพที่ 3.3 โดยใช้เลนส์นูนความยาวโฟกัส 175 มิลลิเมตร ขยายลำแสง และให้แสงผ่านแผ่นทดสอบ จากนั้นจึงบันทึกลงกล้องถ่ายภาพ ซึ่งกล้องถ่ายภาพวางห่างจากแผ่นทดสอบ เป็นระยะ 150 มิลลิเมตร



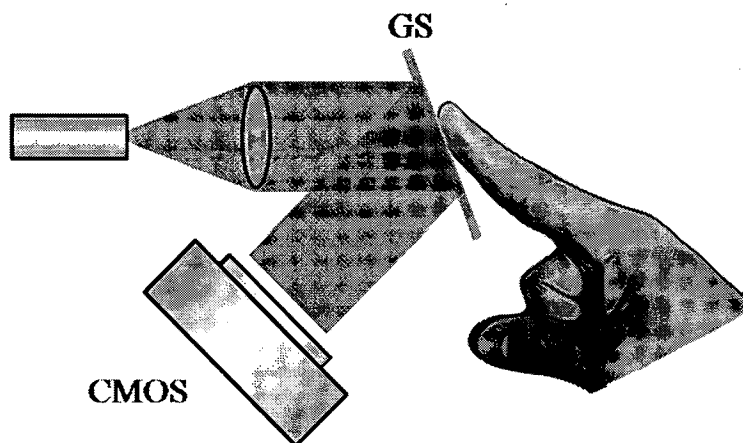
ภาพที่ 3.3 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อถ่ายภาพโฮโลแกรมของแผ่นทดสอบ

3.3 การถ่ายภาพลายนิ้วมือด้วยเทคนิคดิจิทัลโฮโลกราฟี

3.3.1 โดยใช้แผ่นแก้ว

จากหลักการที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 การเก็บภาพลายนิ้วมือด้วยวิธีนี้ได้รวมทฤษฎีการแทรกสอดของแสง กับการถ่ายภาพลายนิ้วมือแบบทั่วไปไว้ด้วยกัน ซึ่งการติดตั้งอุปกรณ์แสดงไว้ในภาพที่ 3.4 แสงจาก

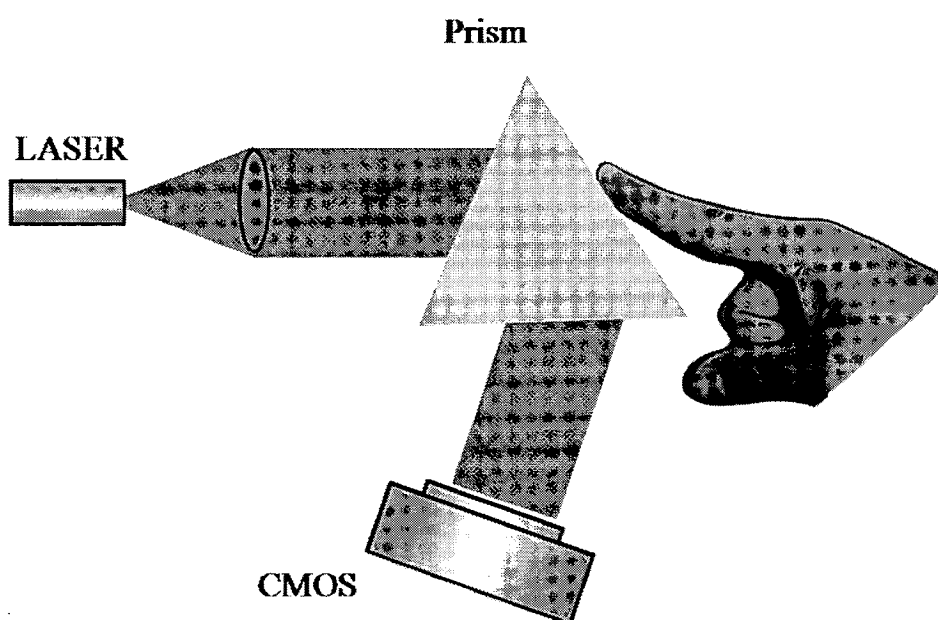
แหล่งกำเนิดที่เป็นเลเซอร์ชนิดไดโอดถูกขยายออกด้วยเลนส์ความยาวโฟกัสขนาด 175 มิลลิเมตร กระทั่งแผ่นแก้วด้วยมุมตกกระทบ 20 องศา และระยะห่างจากแผ่นแก้วถึงอุปกรณ์รับภาพเท่ากับ 150 มิลลิเมตร ซึ่งอุปกรณ์รับภาพที่ใช้คือ กล้องดิจิทัล Canon EOS 350D ที่มี 3456×2304 พิกเซล มีระยะระหว่างพิกเซลคือ 6.4 ไมโครเมตร และมีขนาดเซนเซอร์คือ 22.2×14.7 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3.4 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อถ่ายภาพลายนิ้วมือโดยใช้แผ่นแก้ว

3.3.2 โดยการใช้ปริซึม

เนื่องจากการถ่ายภาพลายนิ้วมือโดยใช้แผ่นแก้วจะเกิดริ้วการแทรกสอดขึ้น ซึ่งเป็นการทำให้ภาพถ่ายลายนิ้วมือถูกรบกวนด้วยการแทรกสอดดังกล่าว ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบระบบใหม่โดยใช้ปริซึมแทน ดังแสดงในภาพที่ 3.5 แสงจากแหล่งกำเนิดที่เป็นเลเซอร์ชนิดไดโอดถูกขยายออกด้วยเลนส์ความยาวโฟกัสขนาด 175 มิลลิเมตร กระทั่งผิวหน้าปริซึมด้วยมุม 28 องศา ซึ่งเป็นมุมที่ทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมดภายในปริซึม และระยะห่างจากปริซึมถึงอุปกรณ์รับภาพเท่ากับ 120 มิลลิเมตร ซึ่งอุปกรณ์รับภาพที่ใช้คือ กล้องดิจิทัล Canon EOS 350D เช่นเดียวกับการทดลองในตอนๆ 3.2.1



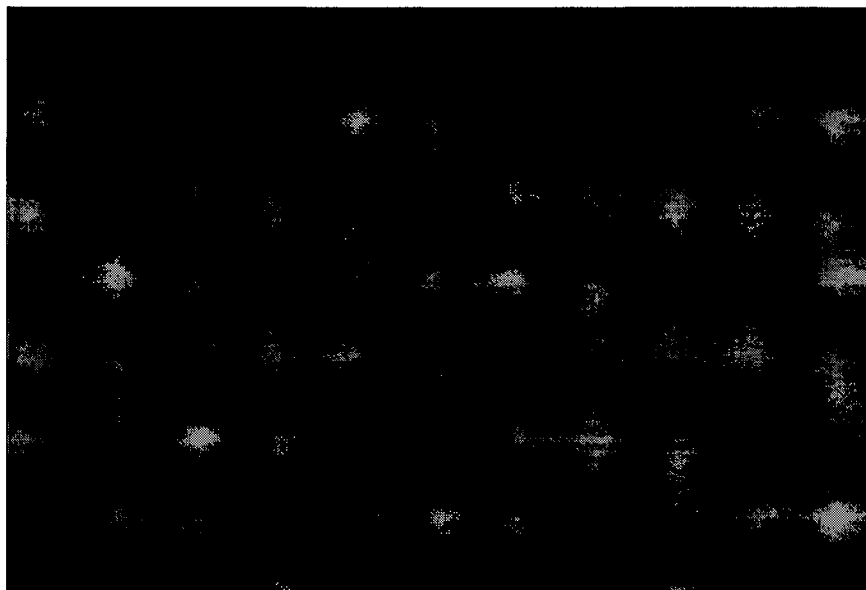
ภาพที่ 3.5 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อถ่ายภาพลายนิ้วมือโดยใช้ปริซึม

บทที่ 4

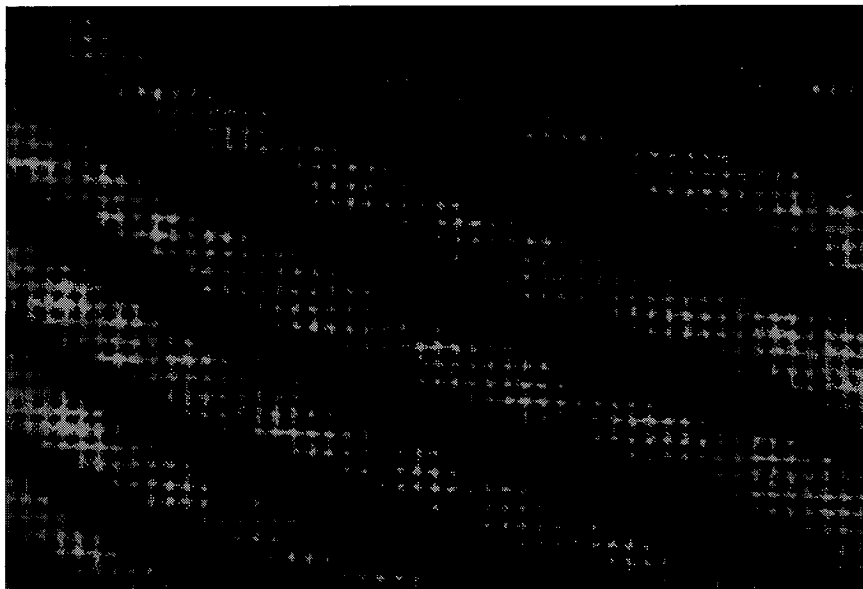
ผลการวิจัย

4.1 ความยาวอาพันธ์ของแหล่งกำเนิดแสง

จากการติดตั้งอุปกรณ์ดังภาพที่ 3.1 ได้ทำการเก็บภาพริ้วการแทรกสอดที่ระยะต่างๆ ซึ่งภาพที่ 4.1 ถึง 4.5 แสดงริ้วการแทรกสอดที่ระยะ 575, 650, 725, 800 และ 875 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งพบว่าที่ระยะ 875 มิลลิเมตร ยังคงเกิดริ้วการแทรกสอดอยู่



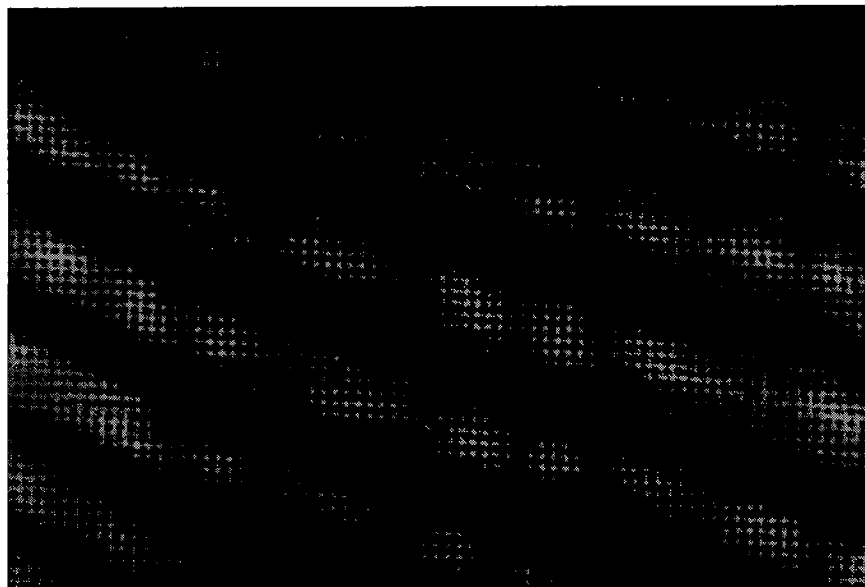
ภาพที่ 4.1 ริ้วการการแทรกสอดที่ระยะ 575 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.2 รื้อการการแทรกสอดที่ระยะ 650 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.3 รื้อการการแทรกสอดที่ระยะ 725 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.4 รีวการการแทรกสอดที่ระยะ 800 มิลลิเมตร



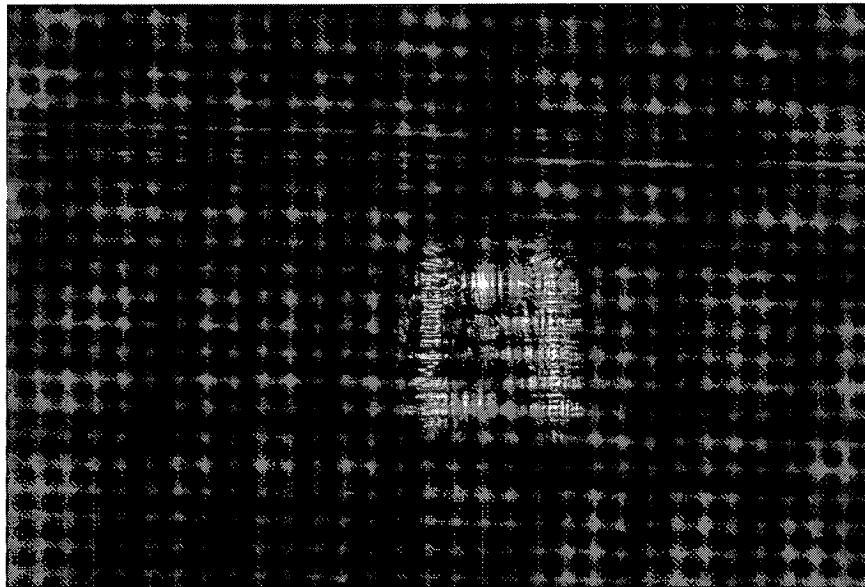
ภาพที่ 4.5 รีวการการแทรกสอดที่ระยะ 875 มิลลิเมตร

4.2 ภาพถ่ายโฮโลแกรมของแผ่นทดสอบ

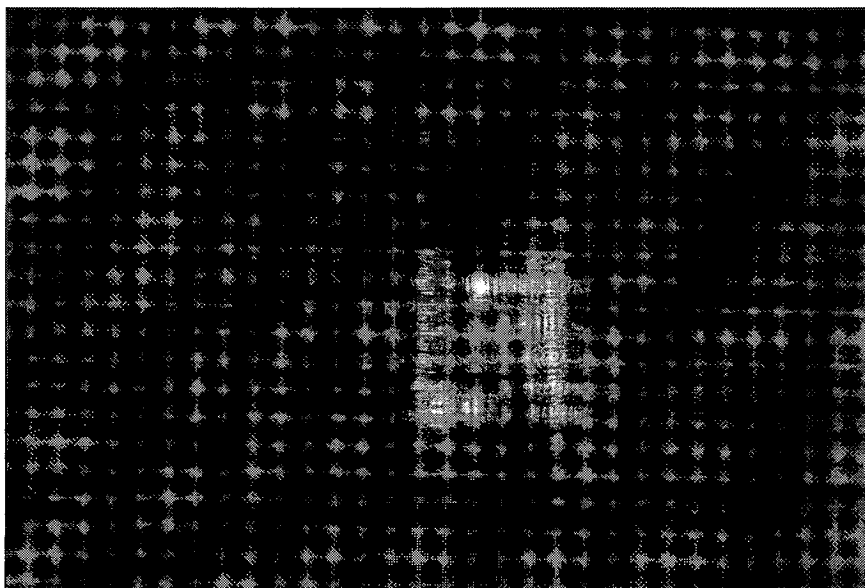
4.2.1 แผ่น USAF

ภาพถ่ายโฮโลแกรมของแผ่น USAF ได้แสดงดังภาพที่ 4.6 และภาพที่ 4.7, 4.8, 4.9 และ 4.10 แสดงการสร้างภาพถ่ายโฮโลแกรมโดยใช้โปรแกรมของแผ่น USAF ที่ระยะ 50, 100, 150, และ 200

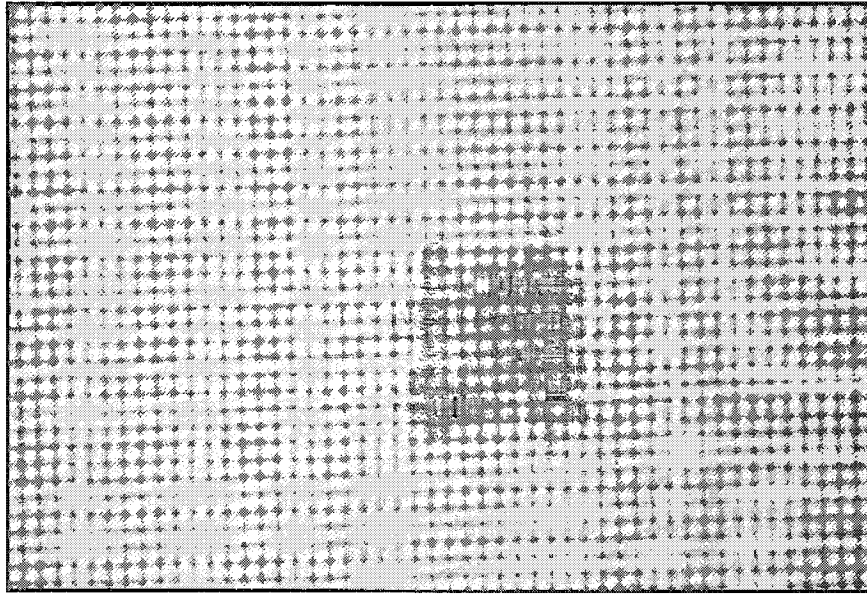
มิลลิเมตร พบว่าการสร้างภาพโฮโลแกรมที่แต่ละระยะให้ภาพโฮโลแกรมไม่ชัดเท่าที่ควร โดยเฉพาะที่ระยะ 150 มิลลิเมตร ซึ่งควรจะได้ภาพที่ชัดที่สุด ทั้งนี้เป็นเพราะว่า ลายบนแผ่นทดสอบมีขนาดเล็กเกินไป จึงทำให้เก็บรายละเอียดของภาพได้ไม่ดีเท่าที่ควร



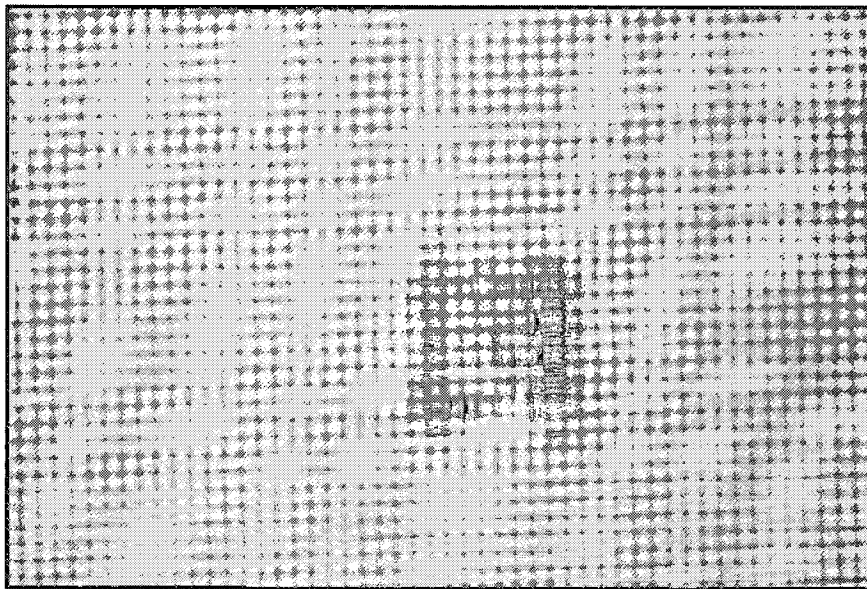
ภาพที่ 4.6 ภาพถ่ายโฮโลแกรมของแผ่น USAF



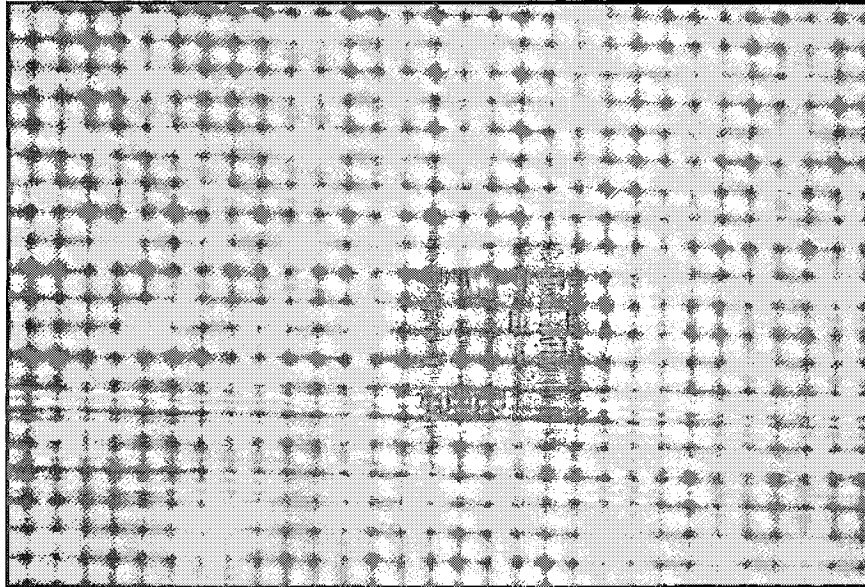
ภาพที่ 4.7 ภาพโฮโลแกรมของแผ่น USAF ที่สร้างขึ้นที่ระยะ 50 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.8 ภาพโฮโลแกรมของแผ่น USAF ที่สร้างขึ้นที่ระยะ 100 มิลลิเมตร



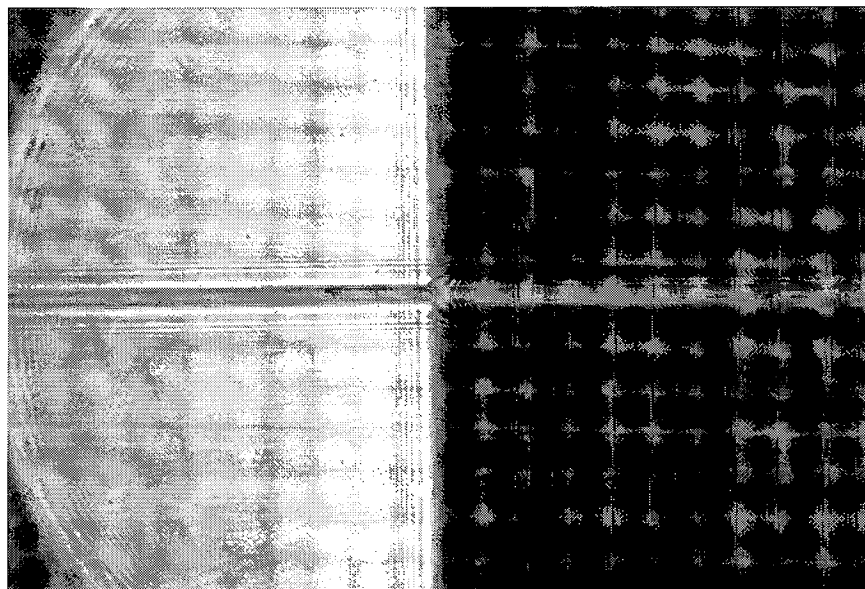
ภาพที่ 4.9 ภาพโฮโลแกรมของแผ่น USAF ที่สร้างขึ้นที่ระยะ 150 มิลลิเมตร



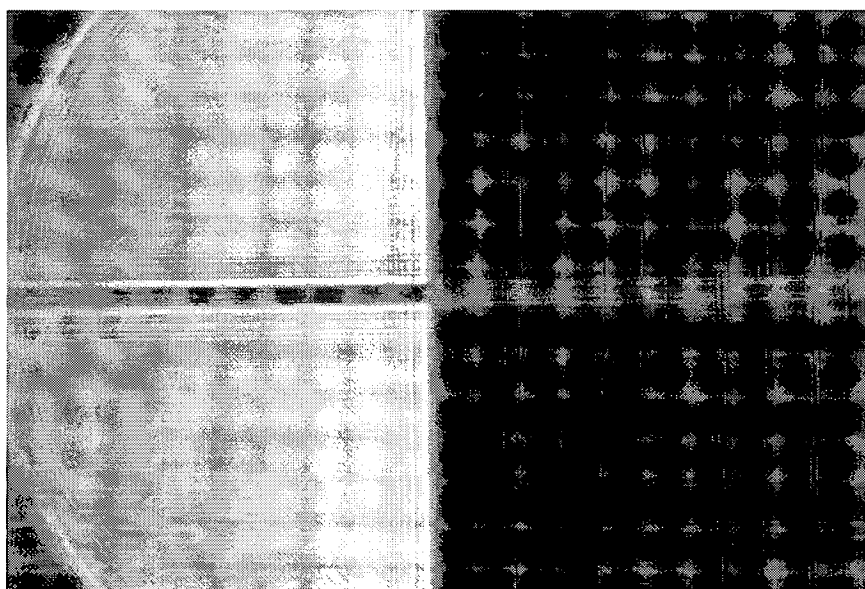
ภาพที่ 4.10 ภาพโฮโลแกรมของแผ่น USAF ที่สร้างขึ้นที่ระยะ 200 มิลลิเมตร

4.2.2 แผ่นทดสอบ

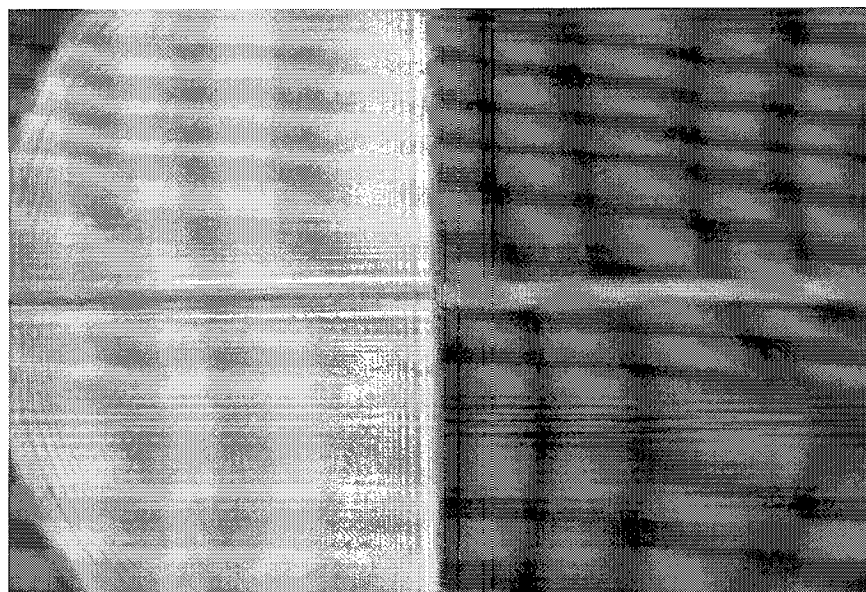
ภาพถ่ายโฮโลแกรมของแผ่นทดสอบได้แสดงดังภาพที่ 4.11 และภาพที่ 4.12, 4.13, 4.14 และ 4.15 แสดงการสร้างภาพถ่ายโฮโลแกรมโดยใช้โปรแกรมของแผ่น USAF ที่ระยะ 50, 100, 150, และ 200 มิลลิเมตร พบว่าการสร้างภาพโฮโลแกรมที่แต่ที่ระยะ 150 มิลลิเมตร (ระยะบันทึกภาพ) จะให้ภาพที่ชัดที่สุด ส่วนการสร้างภาพโฮโลแกรมที่ระยะอื่น จะให้ภาพที่ไม่ชัด (ภาพเบลอ) คล้ายกับการหลุดโฟกัสในการถ่ายภาพทั่วไป และภาพที่ 4.16 ถึง 4.20 แสดงภาพตัดขวางของภาพที่ 4.11 ถึง 4.15 ตามลำดับ พบว่าการสร้างภาพโฮโลแกรมที่ระยะ 150 จะให้ภาพตัดขวางที่สมบูรณ์ที่สุด และสามารถวัดความกว้างในแผ่นทดสอบได้ ซึ่งความกว้างของแผ่นทดสอบคือ 200 ไมโครเมตร และสามารถวัดได้ 200 ไมโครเมตร



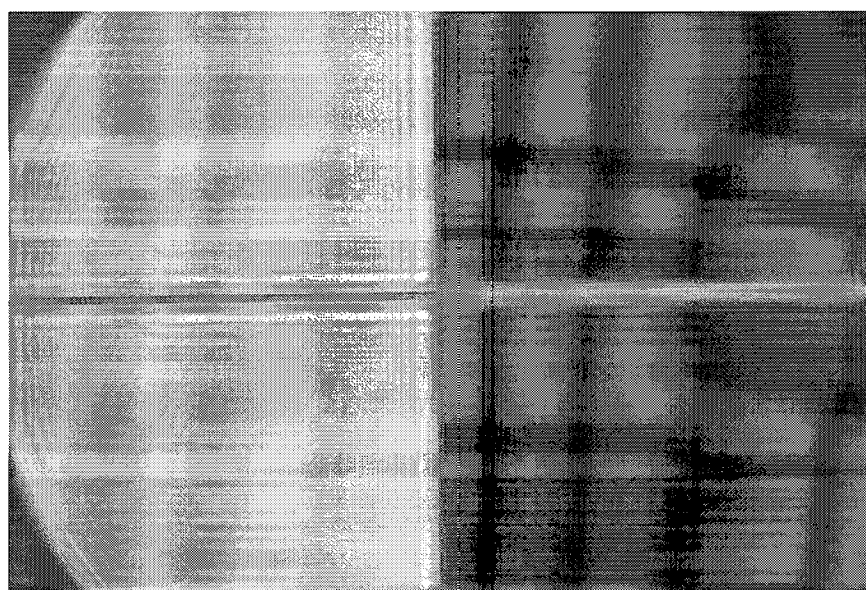
ภาพที่ 4.11 ภาพถ่ายโอโลแกรมของแผ่นทดสอบ



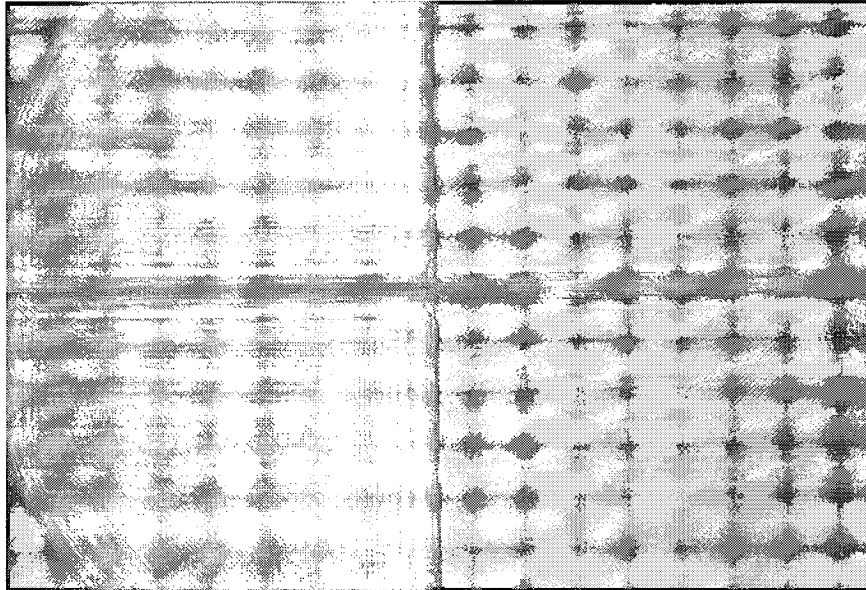
ภาพที่ 4.12 ภาพโอโลแกรมของแผ่นทดสอบ ที่สร้างขึ้นที่ระยะ 50 มิลลิเมตร



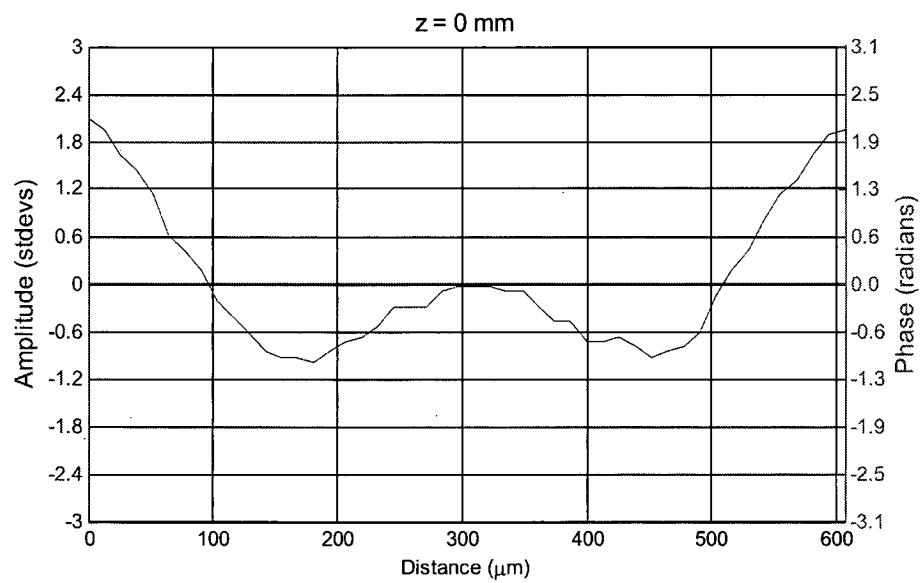
ภาพที่ 4.13 ภาพโฮโลแกรมของแผ่นทดสอบ ที่สร้างขึ้นที่ระยะ 100 มิลลิเมตร



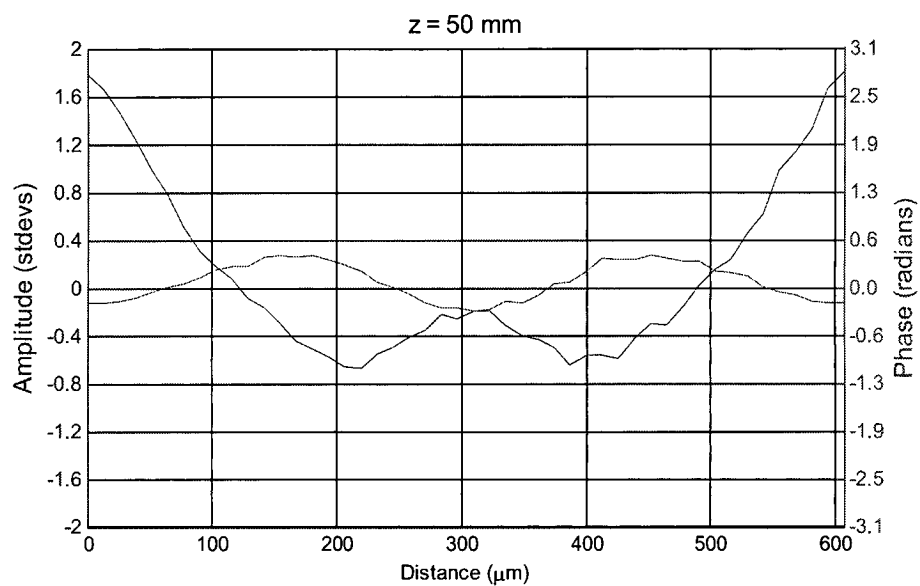
ภาพที่ 4.14 ภาพโฮโลแกรมของแผ่นทดสอบ ที่สร้างขึ้นที่ระยะ 150 มิลลิเมตร



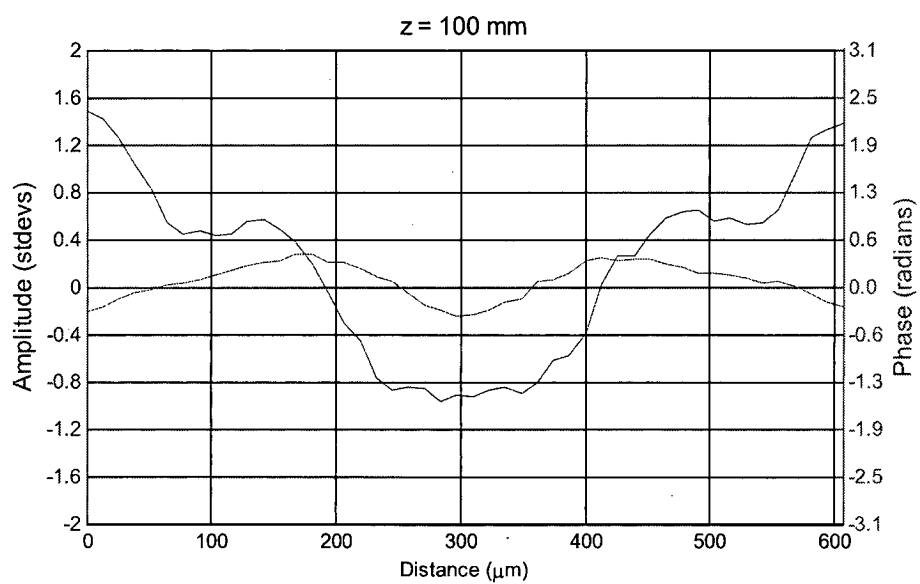
ภาพที่ 4.15 ภาพโฮโลแกรมของแผ่นทดสอบ ที่สร้างขึ้นที่ระยะ 200 มิลลิเมตร



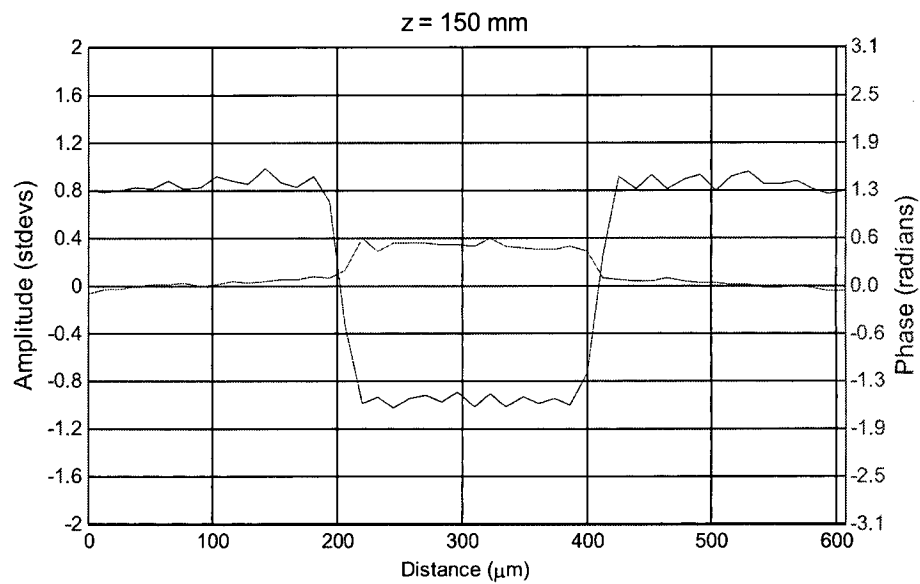
ภาพที่ 4.16 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.11



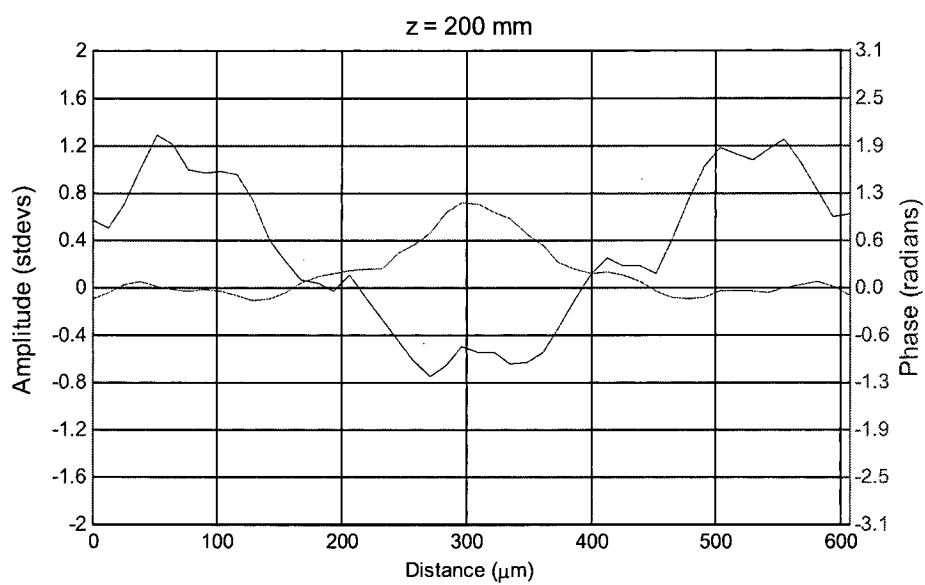
ภาพที่ 4.17 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.18 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.19 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.20 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.15

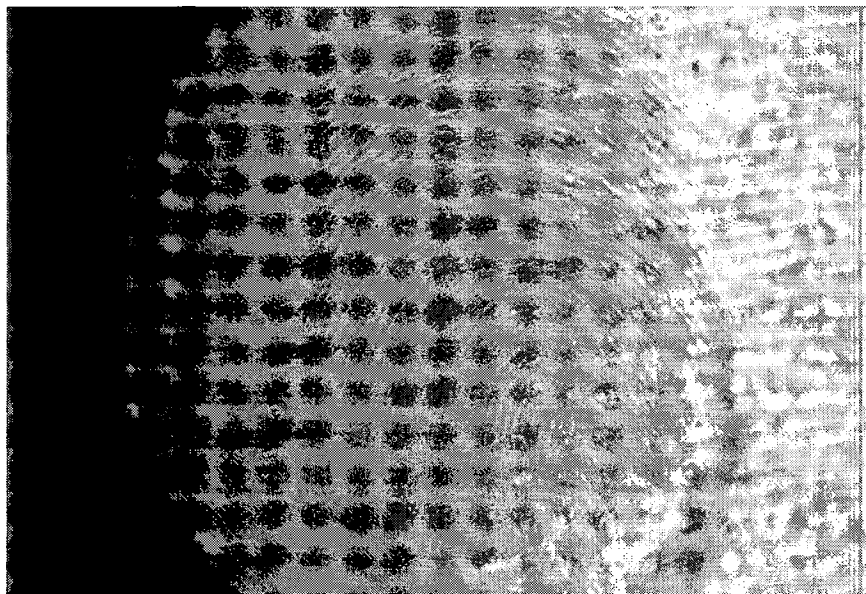
4.3 ภาพถ่ายโฮโลแกรมของลายนิ้วมือ

4.3.1 โดยใช้แผ่นแก้ว

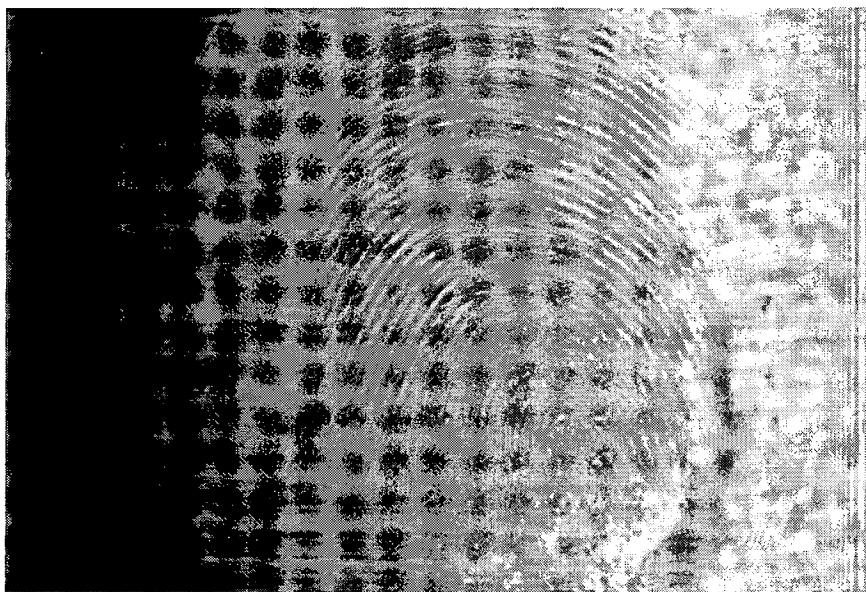
ภาพถ่ายลายนิ้วมือจากการติดตั้งอุปกรณ์ดังภาพที่ 3.4 ได้ถูกแสดงไว้ดังภาพที่ 4.21 ส่วนภาพโฮโลแกรมที่ถูกสร้างขึ้นด้วยระยะ 100, 147 และ 200 มิลลิเมตร ได้แสดงไว้ดังภาพที่ 4.22 ถึง 4.24 และภาพที่ 4.25 ถึง 4.28 แสดงภาพขยายของ ภาพที่ 4.21 ถึง 4.24 ซึ่งพบว่าการสร้างภาพในโปรแกรมที่ระยะ 148 มิลลิเมตร จะให้ภาพที่คมชัดที่สุด นอกจากนี้ภาพที่ 4.29 ถึง 4.31 คือการพล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.26 ถึง 4.28 ตามลำดับ พบว่าที่การสร้างภาพโฮโลแกรมที่ระยะ 148 มิลลิเมตร ให้ภาพตัดขวางที่มีลักษณะที่เป็นระเบียบมากที่สุด และสามารถวัดความกว้างของร่องนิ้วมือได้ คือประมาณ 200 ไมโครเมตร อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาภาพถ่ายลายนิ้วมือด้วยวิธีนี้ จะพบว่ามีริ้วการแทรกสอดที่เกิดขึ้นมาจากแสงสะท้อนที่ผิวด้านหน้า และด้านในของแผ่น จึงทำให้ภาพถ่ายลายนิ้วมือไม่ชัดเท่าที่ควร



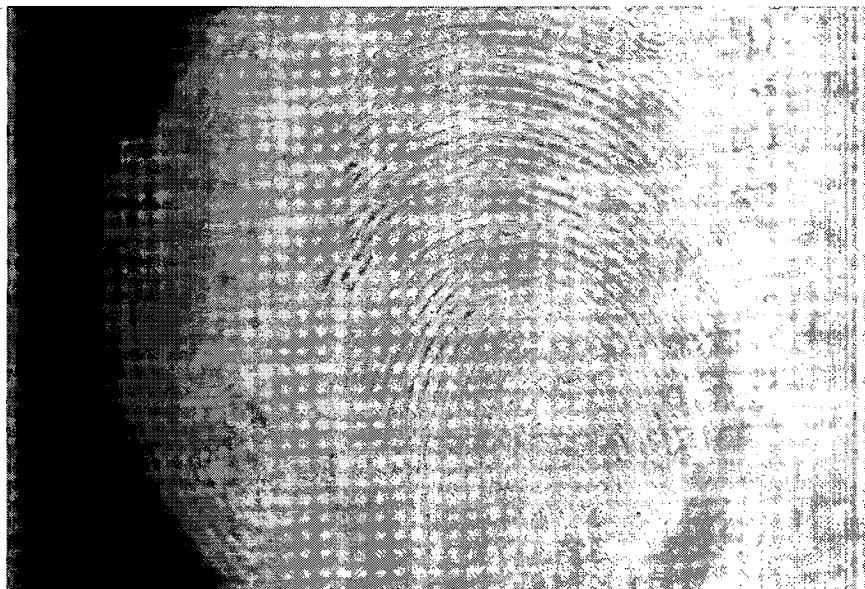
ภาพที่ 4.21 ภาพถ่ายลายนิ้วมือโดยใช้แผ่นแก้ว



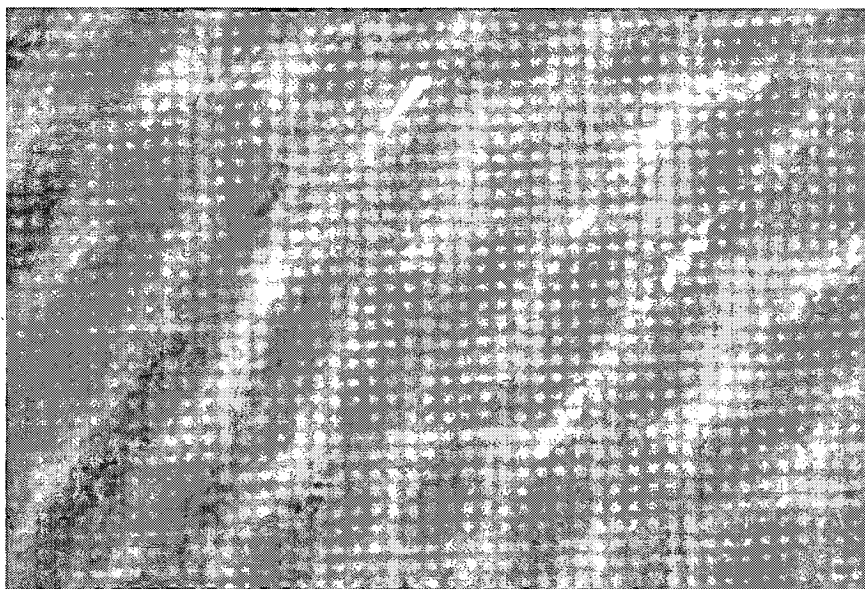
ภาพที่ 4.22 ภาพโฮโลแกรมที่สร้างขึ้นที่ระยะ 100 มิลลิเมตร



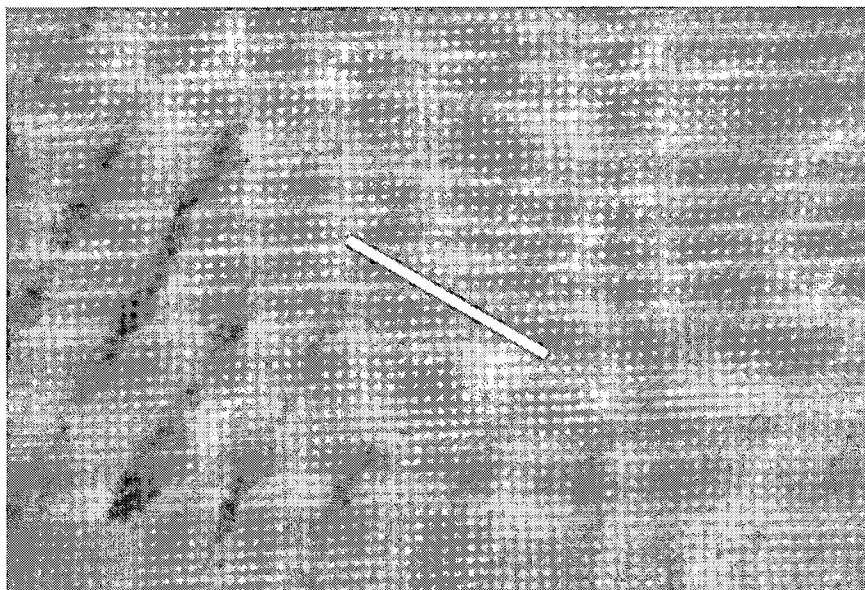
ภาพที่ 4.23 ภาพโฮโลแกรมที่สร้างขึ้นที่ระยะ 148 มิลลิเมตร



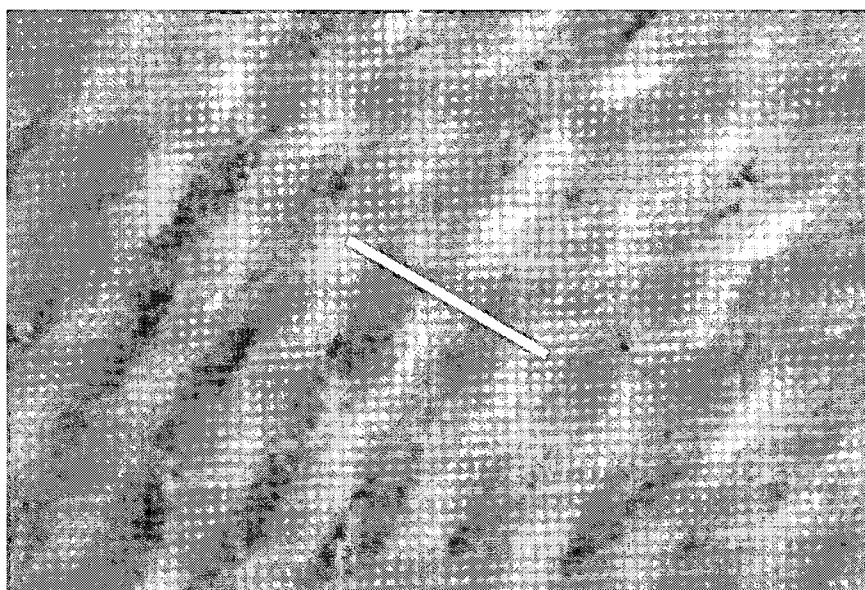
ภาพที่ 4.24 ภาพโฮโลแกรมที่สร้างขึ้นที่ระยะ 200 มิลลิเมตร



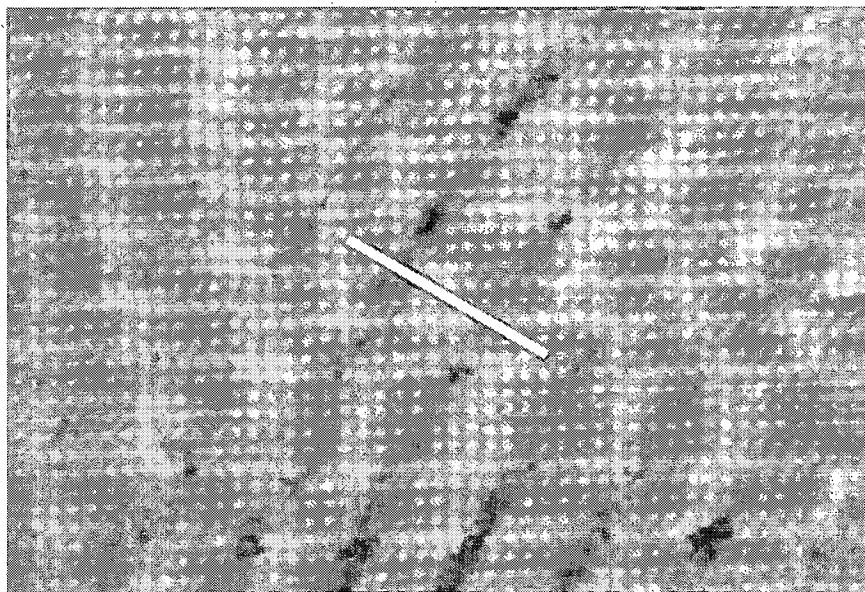
ภาพที่ 4.25 ภาพขยายของภาพที่ 4.21



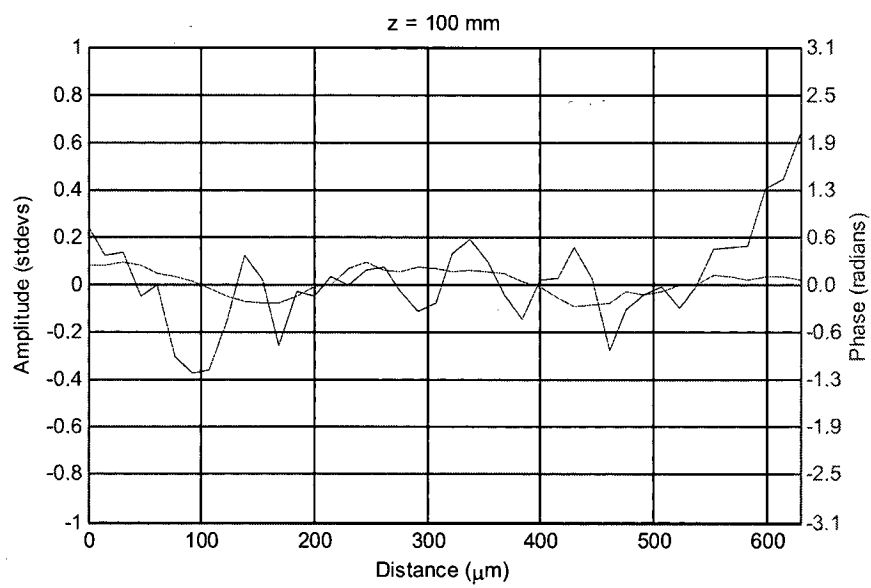
ภาพที่ 4.26 ภาพขยายของภาพที่ 4.22



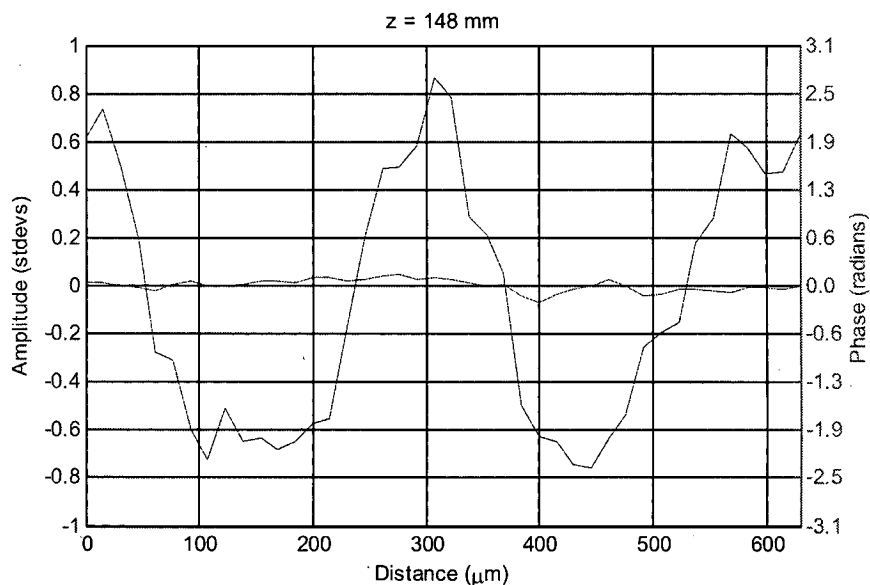
ภาพที่ 4.27 ภาพขยายของภาพที่ 4.23



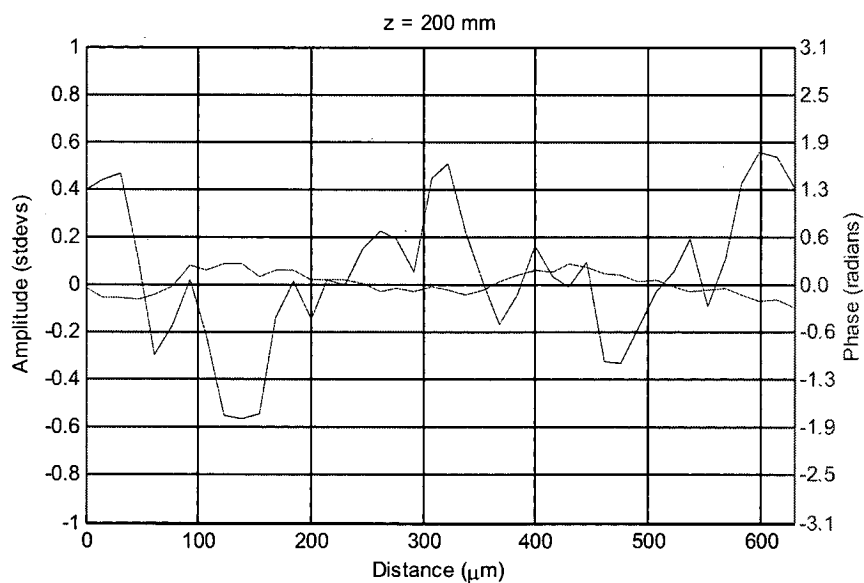
ภาพที่ 4.28 ภาพขยายของภาพที่ 4.24



ภาพที่ 4.29 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.26



ภาพที่ 4.30 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.27



ภาพที่ 4.31 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.28

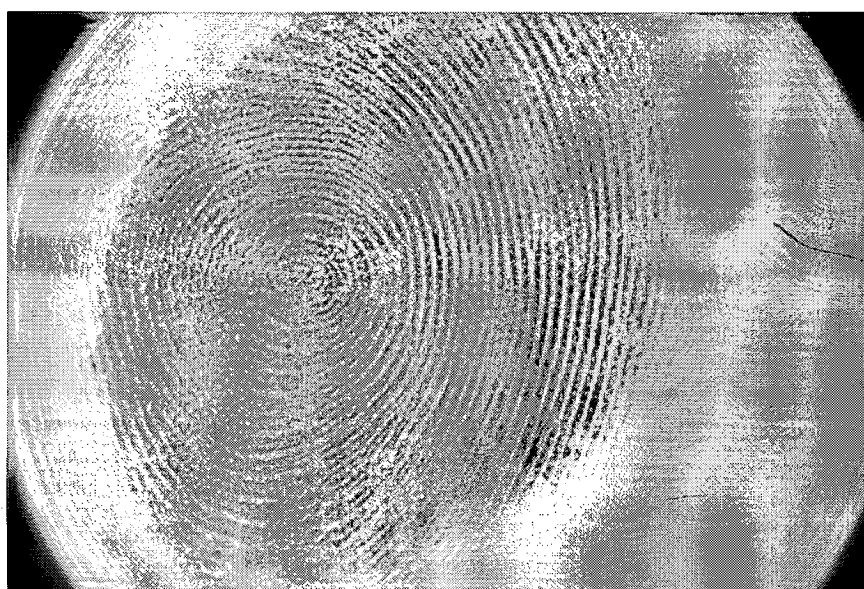
4.3.2 โดยใช้ปริซึม

ภาพถ่ายลายนิ้วมือจากการติดตั้งอุปกรณ์ดังภาพที่ 3.5 ได้ถูกแสดงไว้ดังภาพที่ 4.32 ส่วนภาพโฮโลแกรมที่ถูกสร้างขึ้นด้วยระยะ 126, 150 และ 200 มิลลิเมตร ได้แสดงไว้ดังภาพที่ 4.33 ถึง 4.35 และภาพที่

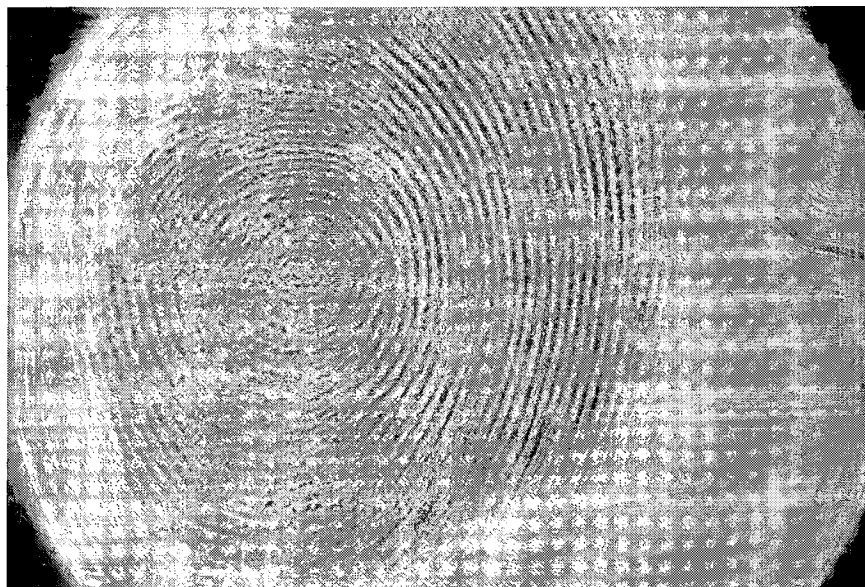
4.36 ถึง 4.39 แสดงภาพขยายของ ภาพที่ 4.32 ถึง 4.35 ซึ่งพบว่าการสร้างภาพในโปรแกรมที่ระยะ 126 มิลลิเมตร จะให้ภาพที่คมชัดที่สุด นอกจากนี้ภาพที่ 4.40 ถึง 4.42 คือการพล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.33 ถึง 4.35 ตามลำดับ พบว่าที่การสร้างภาพโฮโลแกรมที่ระยะ 126 มิลลิเมตร ให้ภาพตัดขวางที่มีลักษณะที่เป็นระเบียบมากที่สุด เมื่อเทียบกับการด้วยวิธีที่ผ่านมาพบว่าวิธีนี้ให้ภาพถ่ายลายนิ้วมือได้สมบูรณ์กว่า คือไม่มีริ้วการแทรกสอดมารบกวนรายละเอียดของภาพ



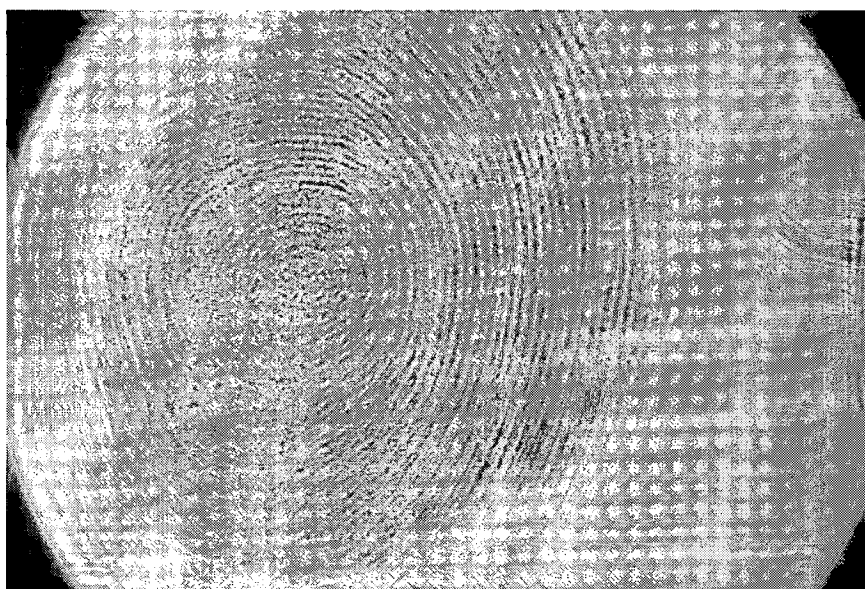
ภาพที่ 4.32 ภาพถ่ายลายนิ้วมือโดยใช้ปริซึม



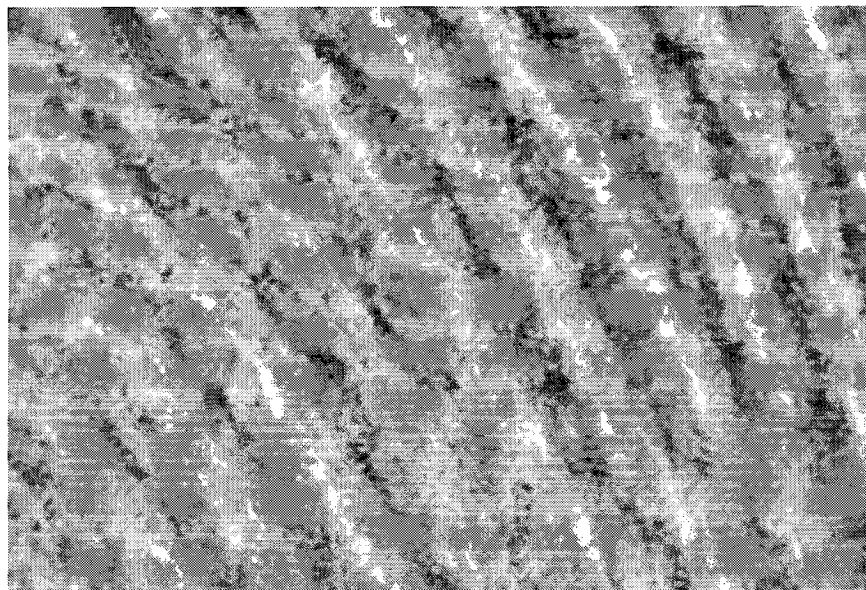
ภาพที่ 4.33 ภาพโฮโลแกรมที่สร้างขึ้นที่ระยะ 126 มิลลิเมตร



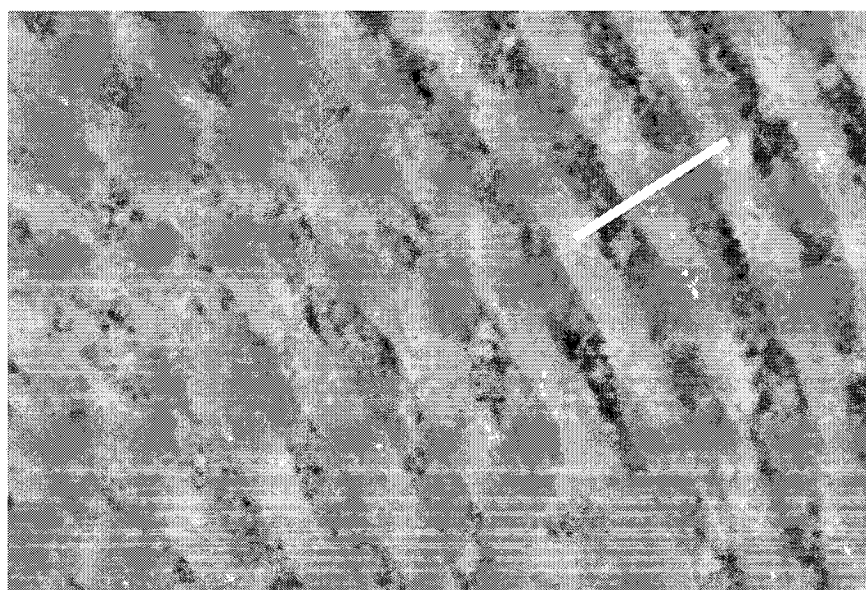
ภาพที่ 4.34 ภาพโฮโลแกรมที่สร้างขึ้นที่ระยะ 150 มิลลิเมตร



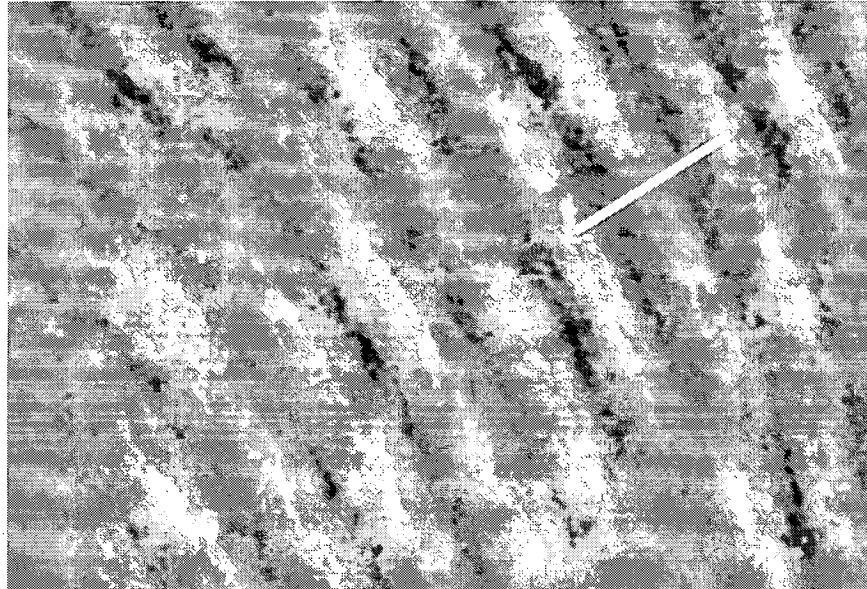
ภาพที่ 4.35 ภาพโฮโลแกรมที่สร้างขึ้นที่ระยะ 200 มิลลิเมตร



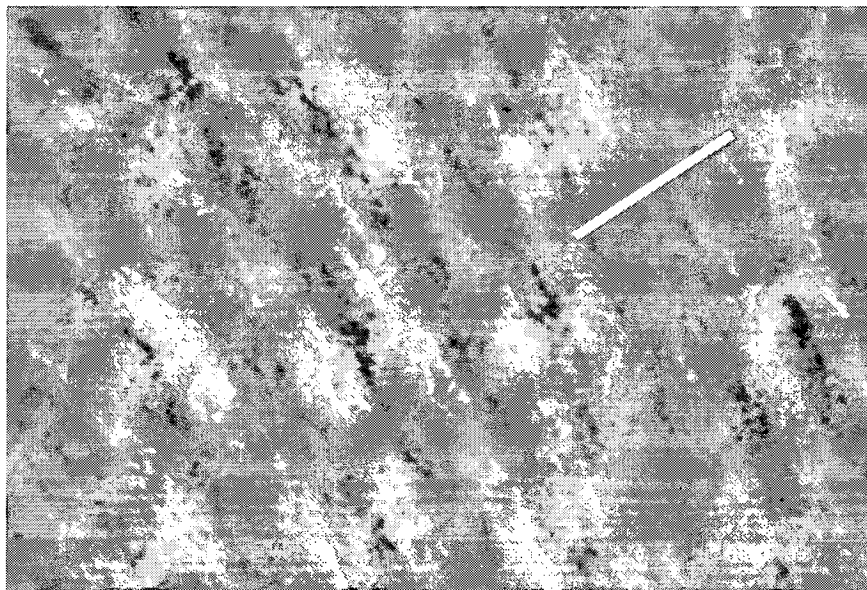
ภาพที่ 4.36 ภาพขยายของภาพที่ 4.32



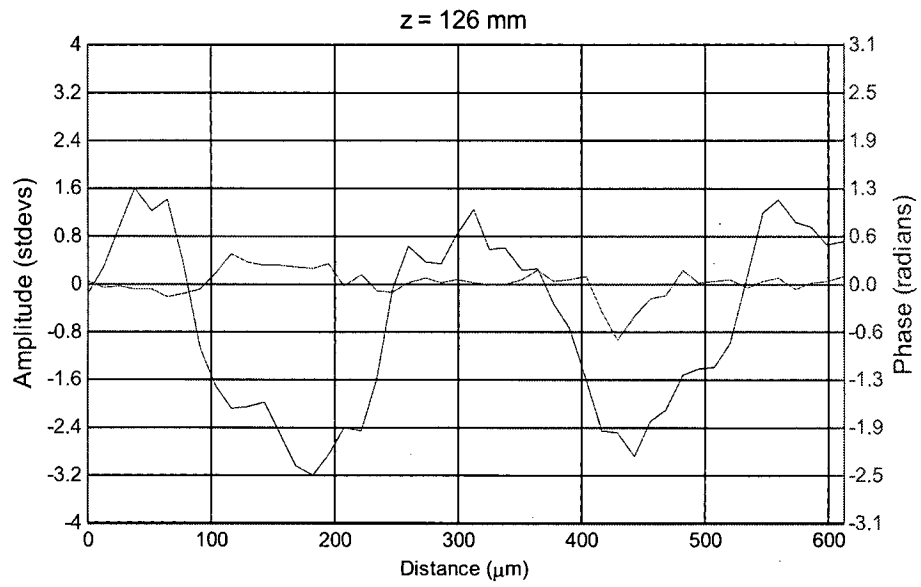
ภาพที่ 4.37 ภาพขยายของภาพที่ 4.33



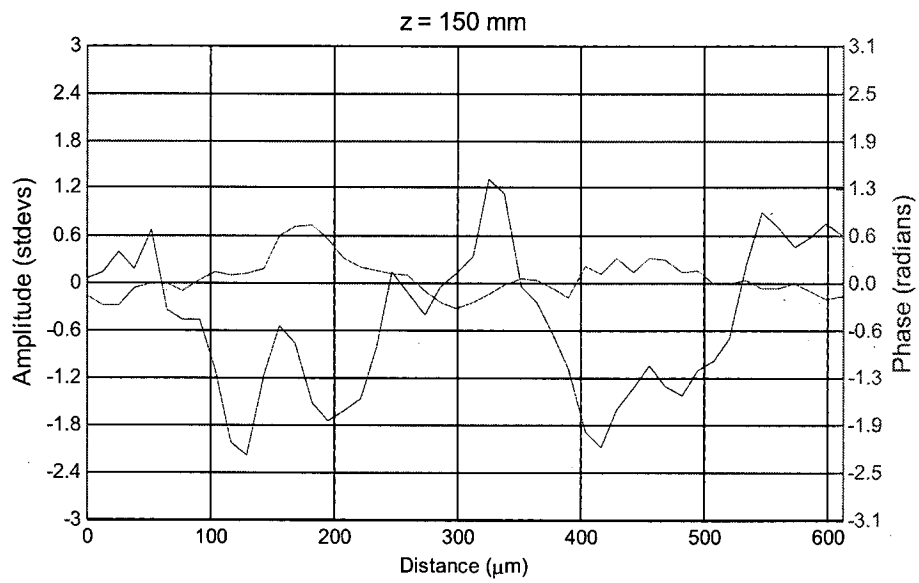
ภาพที่ 4.38 ภาพขยายของภาพที่ 4.34



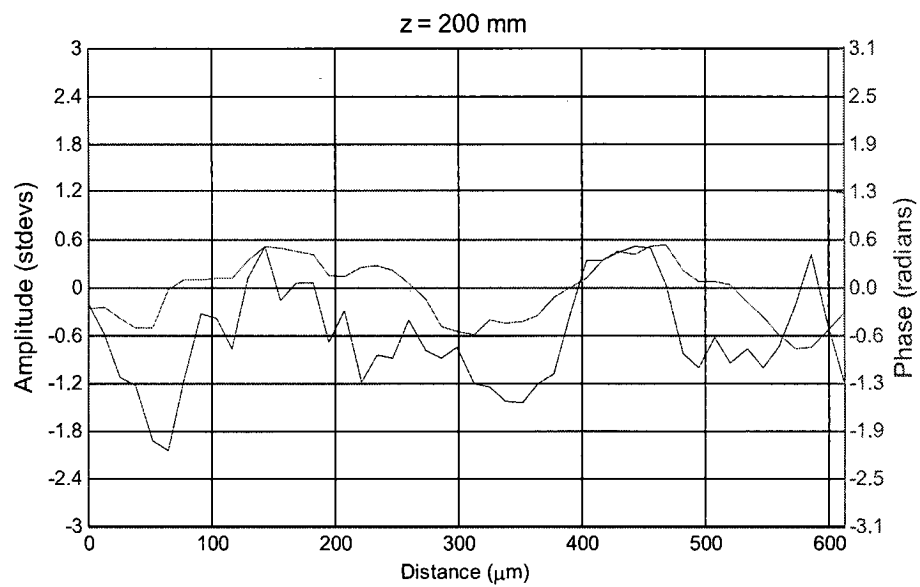
ภาพที่ 4.39 ภาพขยายของภาพที่ 4.35



ภาพที่ 4.40 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.37



ภาพที่ 4.41 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.38



ภาพที่ 4.42 พล็อตภาพตัดขวางของภาพที่ 4.39

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการผลการทดลองการวัดความยาวอาพันธ์สรุปได้ว่าแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นเลเซอร์ไดโอดนี้มีความยาวอาพันธ์ไม่น้อยกว่า 875 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามระยะทางเดินแสงทั้งหมดของการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อถ่ายภาพลายนิ้วมือด้วยเทคนิคดิจิทัลโฮโลกราฟีนี้ มีระยะเพียง 400 มิลลิเมตรเท่านั้น ดังนั้นแหล่งกำเนิดแสงดังกล่าวจึงสามารถนำมาใช้ในการถ่ายภาพลายนิ้วมือด้วยเทคนิคดิจิทัลโฮโลกราฟีได้

ในการสร้างภาพโฮโลแกรมของแผ่น USAF นั้น พบว่าไม่สามารถสร้างภาพโฮโลแกรมได้ เนื่องจากขนาดของแผ่น USAF นั้นมีขนาดเล็กเกินไป ดังนั้นจึงได้ทำการเปลี่ยนเป็นแผ่นทดสอบทั่วไป ซึ่งมีความกว้างของลายอยู่ที่ 200 ไมโครเมตร พบว่าการสร้างภาพโฮโลแกรมจะชัดที่สุดที่ระยะ 150 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะที่เท่ากับระยะห่างระหว่างแผ่นทดสอบถึงตำแหน่งอุปกรณ์รับภาพพอดี ส่วนระยะอื่นๆนั้นให้ภาพที่มีความคมชัดลดลงไป ซึ่งเหมือนกับการ “หลุดโฟกัส” ในการถ่ายภาพทั่วไปนั่นเอง

ในการถ่ายภาพลายนิ้วมือโดยใช้แผ่นแก้ว พบว่าสามารถสร้างภาพโฮโลแกรมของลายนิ้วมือได้ชัดที่สุดที่ระยะ 147 มิลลิเมตร ซึ่งชัดกว่าภาพถ่ายเริ่มต้นที่มีริ้วการแทรกสอดรบกวนอยู่ด้านหลังภาพ อย่างไรก็ตามยังคงเห็นริ้วการแทรกสอดจางๆที่เกิดจากแผ่นแก้วปรากฏอยู่ในภาพโฮโลแกรม ดังนั้นจึงได้ทำการเปลี่ยนอุปกรณ์จากแผ่นแก้วเป็นปริซึมมาใช้ในการถ่ายภาพลายนิ้วมือแทน พบว่าให้ภาพถ่ายลายนิ้วมือชัดกว่าการใช้แผ่นแก้ว นอกจากนี้แล้วยังสามารถวัดความกว้างของร่องนิ้วมือได้จากการพล็อตภาพตัดขวางของลายนิ้วมืออีกด้วย ซึ่งมีความกว้างของร่องนิ้วมือประมาณ 200 ไมโครเมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการถ่ายภาพของแผ่น USAF เนื่องจากขนาดของลายบนแผ่นมีขนาดเล็กมาก จึงทำให้ไม่สามารถสร้างภาพโฮโลแกรมได้ สามารถแก้ไขได้โดยการใช้เลนส์มาช่วยในการขยายขนาดของภาพ ก่อนจะบันทึกลงกล้อง นอกจากนี้ยังสามารถนำเลนส์มาใช้ในการถ่ายภาพลายนิ้วมือได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Gabor D, "A new microscopic principle," Nature 161, 777-778 (1948).
- [2] Gabor D, "Microscopy by reconstruction wavefronts," Proc. Roy. Soc. 197, 454-487 (1949).
- [3] Gabor D, "Microscopy by reconstruction wavefronts: 2," Proc. Phys. Soc. 64, 449-469 (1951).
- [4] Leith EN, Upatnieks J, "Reconstructed wavefronts and communication theory," Jour. Opt. Soc. Amer. 52, 112-1130 (1962).
- [5] Leith EN, Upatnieks J, "Wavefront reconstruction with diffused illumination and threedimensional objects," Jour. Opt. Soc. Amer. 54, 1295-1301 (1964).
- [6] Powell RL, Stetson KA, "Interferometric Vibration Analysis by Wavefront reconstructions," J. Opt. Soc. Amer. 55, 1593-1598 (1965).
- [7] Stetson KA, Powel RL, "Interferometric hologram evaluation and real-time vibration analysis of diffuse objects," J. Opt. Soc. Amer. 55, 1694-1695 (1965).
- [8] Goodman JW, Lawrence RW, "Digital image formation from electronically detected holograms," Appl. Phys. Lett. 11, 77-79 (1967).
- [9] Kronrod MA, Merzlyakov NS, Yaroslavski LP, "Reconstruction of holograms with a computer," Sov. Phys-Tech. Phys. USA 17(2), 333-334(1972).
- [10] Onural L, Scott PD, "Digital decoding of in-line holograms," Opt. Eng. 26(11), 1124-1132 (1987).
- [11] Liu G, Scott PD, "Phase retrieval and twin-image elimination for in-line Fresnel holograms," J. Opt. Soc. Am A4(1), 159-165 (1987).
- [12] Onural L, Ozgen MT, "Extraction of three-dimensional object-location information directly from in-line holograms using Wigner analysis," J. Opt. Soc. Amer. A 9(2), 252-260 (1992).

- [13] Haddad W, Cullen D, Solem J, Longworth J, McPherson A, Boyer K, Rhodes K, "Fourier-transform holographic microscope," *Appl. Opt.* 31(24), 1687-1689 (1992).
- [14] Schnars U, Juptner W, "Principles of direct holography for interferometry," *Proc. 2nd International Workshop on Automatic Processing of Fringe Patterns*, Akademie, Berlin, pp 115-120 (1993).
- [15] Schnars U, Juptner W, "Direct recording of holograms by a CCD-target and numerical reconstruction," *Applied Optics* 33(2), 179-181(1994).
- [16] I.Yamaguchi, J. Kato, and H.Matsuzaki, "Measurement of surface shape and deformation by phase-shifting image digital holography," *Opt. Eng.* 42, 1267-1271(2003).
- [17] Y.Morimoto, T.Nomura, M .Fjigaki, S.Yoneyama, and I.Takahashi, "Deformation measurement by phase shifting digital holography," *Exp.Mech.* 45, 65-70(2005).

Fingerprint verification by using low coherence digital holography

S. Plaipichit*, P. Atta, P. Buranasiri, C. Ruttanapun, and P. Jindajitawat

Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok, Thailand 10520

ABSTRACT

In this paper, we have proposed the novel prototype of the portable fingerprint scanner. Using this method, the low coherence digital holography technique has been used to verify fingerprints. In our experiment, the Michelson's interferometer has been setup first for determining the coherence length of a laser diode with wave length of 635 nm. In our model, the light transmission and reflection properties of the glass slide have been applied. Then, the glass slide has been used as a beam splitter for separating the light to two beams, which are the reference beam and fingerprint image bearing beam. The results show fingerprint pattern, which are reconstructed with numerical method.

Keywords: digital holography, fingerprint, low coherence

1. INTRODUCTION

The observation of microscopic scale has been widely interested for long time. Since D. Gabor has been first found the investigation technique in microscopic scale by using light called "Holography"¹, a variety of application in microscopic holography has been proposed. Since, several years later, high speed computer and image sensor (Charge couple device: CCD) have been widely used, the holography technique has been developed by U. Schnars and W. Juptner² and then called "Digital Holography". Digital holography technique has been widely applied to various fields³, such as deformation measurement, vibration analysis, object recognition, microscopic scale observation, and particle characterization. One of interesting research in microscopic scale observation is fingerprint scanner. So far there are many kinds of sensors used to scanning fingerprint pattern, such as capacitive sensor⁴, ultrasonic sensor⁵, and optical sensor⁶. By using optical sensor, the total internal reflection has been needed. The finger is illuminated through a prism and reflection profile contains the ridge patterns, which contact with the prism. Recently, the method of fingerprint scanning by using optical sensor can be developed by using digital holography technique for record both amplitude and phase. Using the digital holography, the profile of fingerprint pattern can be displayed in three dimensions⁷. However, to develop digital holography for compact scanner, a number of apparatus of the devices should be concerned. In this paper we proposed the concept of portable fingerprint scanner without beam splitter. Instead of using the beam splitter, a glass slide is used to reflect the fingerprint pattern beam and reference beam.

2. HOLOGRAM RECORDING AND RECONSTRUCTION CONCEPT

In this section, we briefly described the concept of hologram recording with single glass slide. Figure 1(a) shows principle of fingerprint scanner. Light ray, which is incident upon a specular surface such as fingerprint valley is reflected. In the same time, light ray will scat at an irregular surface i.e. finger ridge. Using this technique, fingerprint pattern has been recorded by using photo detector or digital camera. Figure 1(b) shows the principle of interference of thin film. The reflected waves from upper and lower surface of the glass slide have been interfered, when the thickness between upper and lower surface is small. From the concept of figure 1(a) and 1(b), so the hologram can be recorded without beam splitter. The object wave, which contains a fingerprint pattern, propagates from upper surface and the reference wave propagates from lower surface. Therefore, this concept can be reduced some apparatus and area of the setup. In this paper, the holograms from the data sets presented are reconstructed using the method described by Fugal et al⁸.

*ivirung@gmail.com; phone +66 329 8400-8411; fax +66329 8412

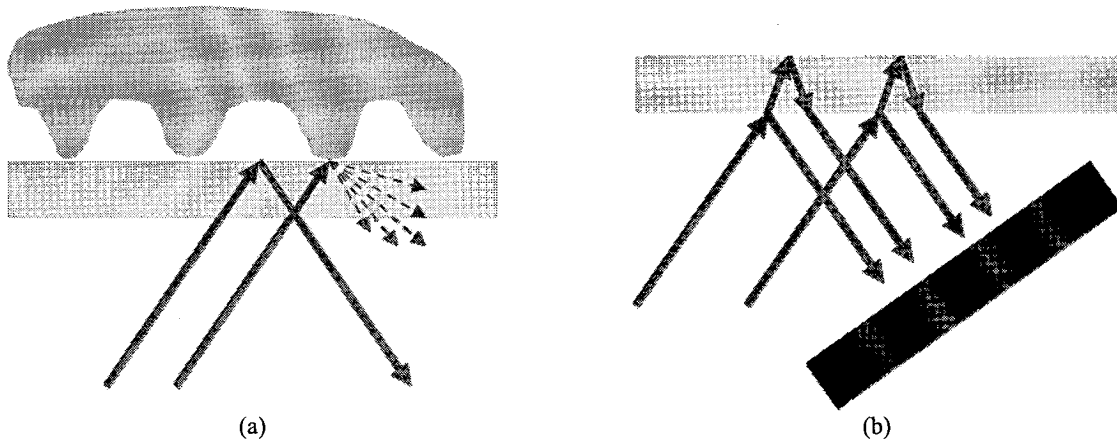


Figure 1. The concept of holographic fingerprint recording: (a) principle of finger print scanner; (b) interference pattern of thin film

3. EXPERIMENTAL SETUP

A schematic of the coherence length measuring based on Michelson interferometer is shown in Figure 2. The polarized laser diode with wave length of 635 nm has been used as the light source. Laser beam was expanded and split to two beams by convex lens with focal length of 175 mm and beam splitter, respectively. The distance from the beam splitter to laser diode, two mirrors, and screen were 400 mm, 50 mm, and 75 mm, respectively. The distance of optical light path from light source to screen was varied by changing the position of the screen. The interference pattern was recorded by CMOS camera.

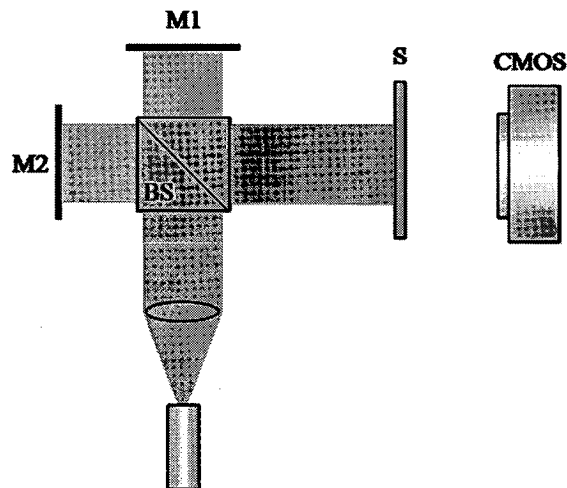


Figure 2. Michelson interferometer setup for coherence length measuring: M's, mirrors; BS, beam splitter; S, screen.

Figure 3, shows a schematic of the low coherence digital holographic fingerprint scanner setup. The expanded beam from the light source was incident on a glass slide with incident angle was 20 degree. The finger was laid over the back side of glass slide then the plane of the referent beam and object beam interfered with each other on CMOS camera, which placed from glass slide for 150 mm. We used Canon EOS 350D with 3456 x 2304 pixels, 6.4 μm pixel pitch, and 22.2 x 14.7 mm size as CMOS camera.

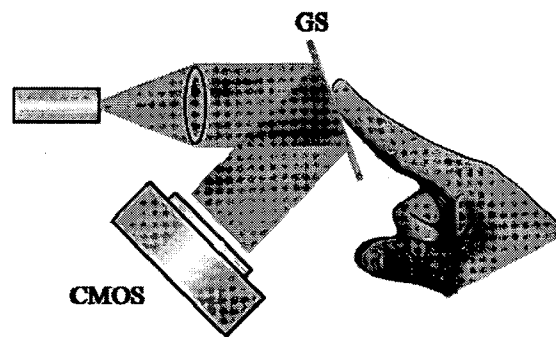


Figure 3. Fingerprint scanner setup: GS is glass slide.

4. RESULTS OF IMAGING EXPERIMENTS

Figure 4(a) – (e) illustrate the interference pattern on screen captured by CMOS camera with the distances of optical light path are 575 mm, 650 mm, 725 mm, 800 mm, and 875 mm. The interference patterns of longest distance still stably occur. This means that the coherence length of this laser diode is not smaller than 875 mm.

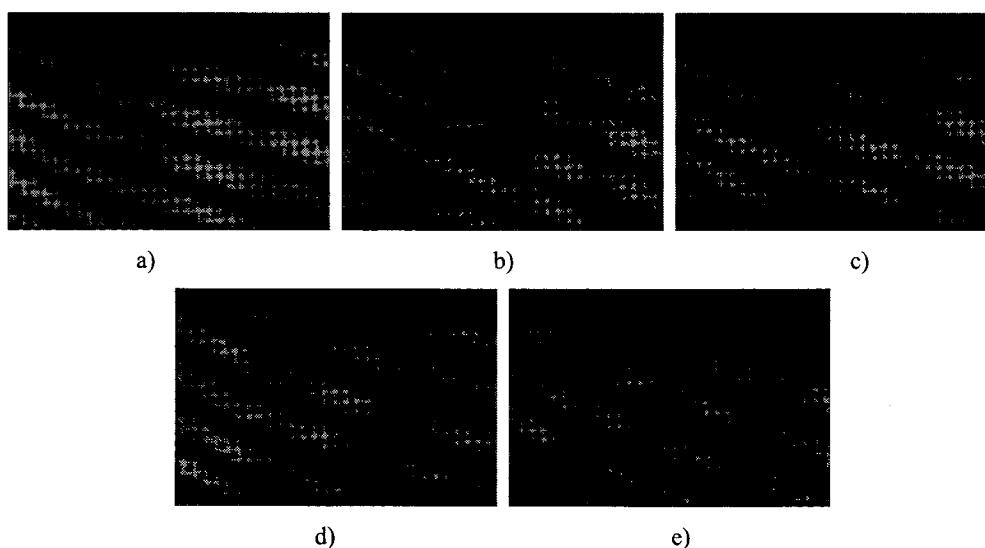


Figure 4. Interference pattern of each optical path distance: (a) 575 mm; (b) 650 mm; (c) 725 mm; (d) 800 mm; (e) 875 mm.

Figure 5(a) and 5(e) show fingerprint hologram, which recorded by CMOS camera at distance of 150 mm. The fingerprint pattern is likely prominent. However, there is interference pattern between the beams that reflected from the front and back face of glass slide appears at background of image. Figure 5(b) and 5(f) show the reconstructed hologram at distance of 100 mm. The fingerprint image is not clear like the blur image that shot by the out of focus in photography. Figure 5(c) and 5(g) show the reconstructed hologram at distance 148 mm, which is close to the distance of CMOS and glass slide that we use for writing holography. This image [Fig. 5(g)] is very clear and sharp without the interference pattern background. Like the previous images [Fig. 5(b) and 5(f)], the reconstructed hologram at distance of 200 mm [Fig. 5(d) and 5(h)] are not clear but there is no interference pattern appear.

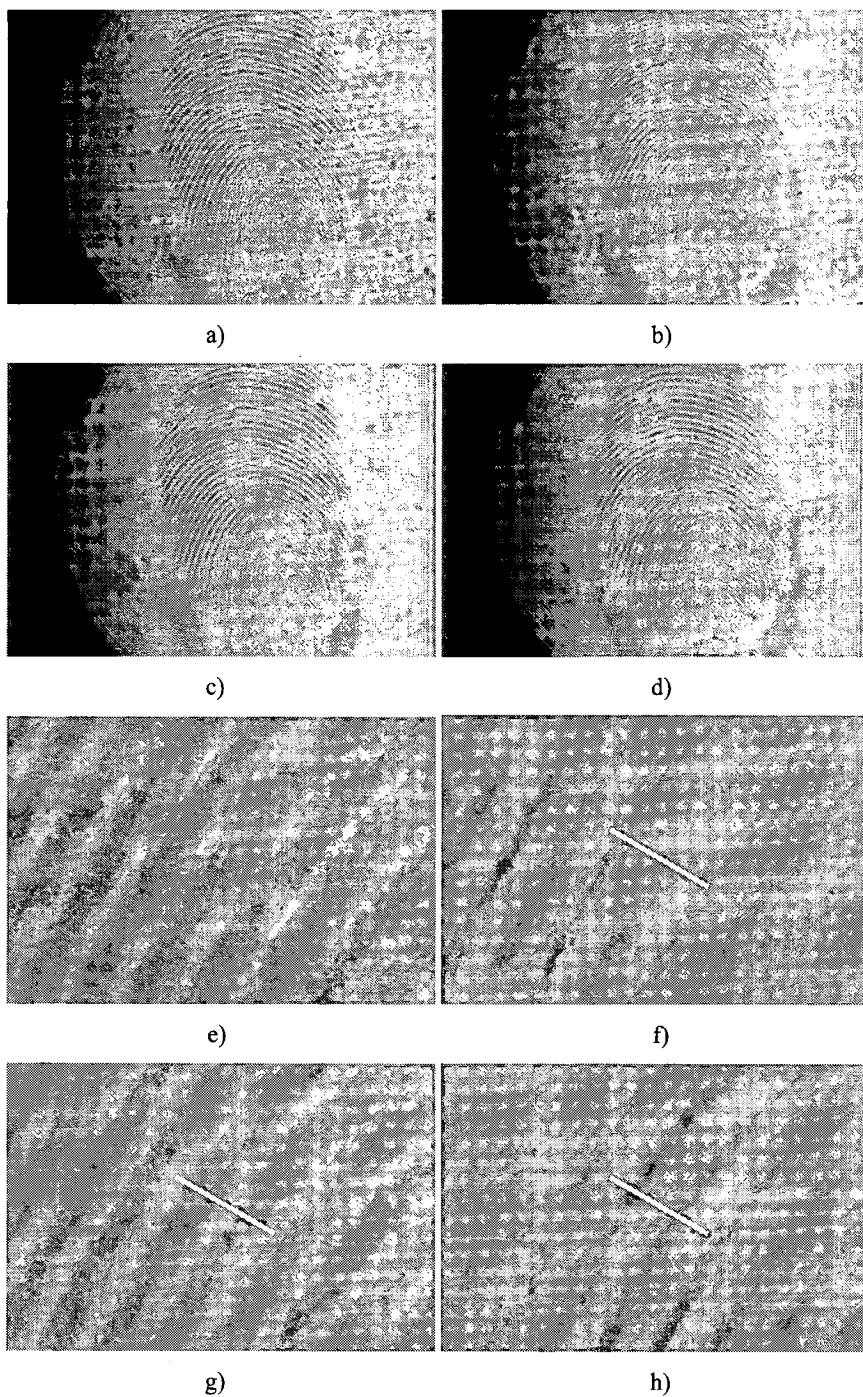


Figure 5. Fingerprint images: (a) hologram; (b) reconstructed image at distance of 100 mm; (c) reconstructed image at distance of 148 mm; (d) reconstructed image at distance of 200 mm; (e) zoom crop of figure 5(a); (f) zoom crop of figure 5(b); (g) zoom crop of figure 5(c); (h) zoom crop of figure 5(d)

Figures 6 and 8 illustrate cross section plots of the reconstructed images, which are out of focus. The characteristics of amplitude versus distance are not periodic. In contrast, at the reconstructed distance close to the recorded distance, the amplitude characteristic is periodic as shown in Figure 7.

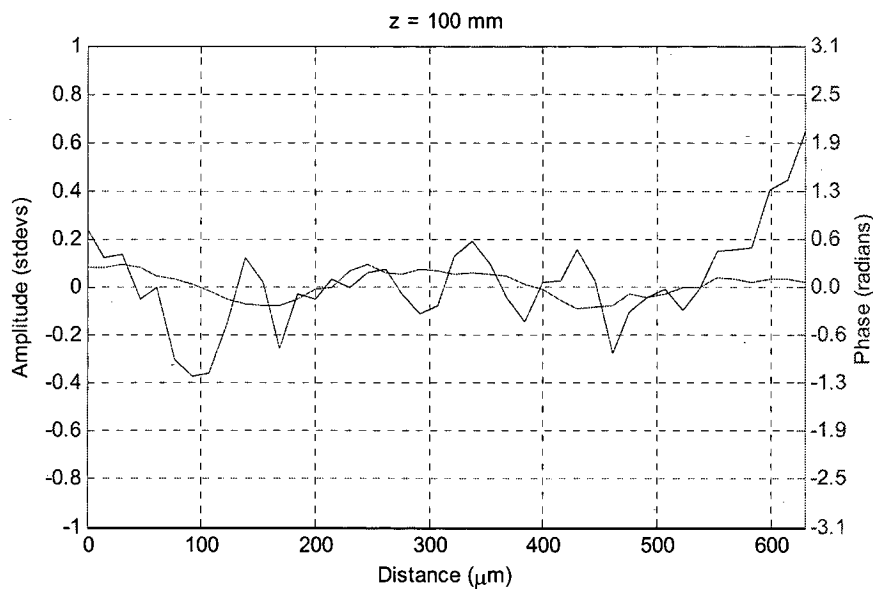


Figure 6. Cross section plot of Fig.4 (f).

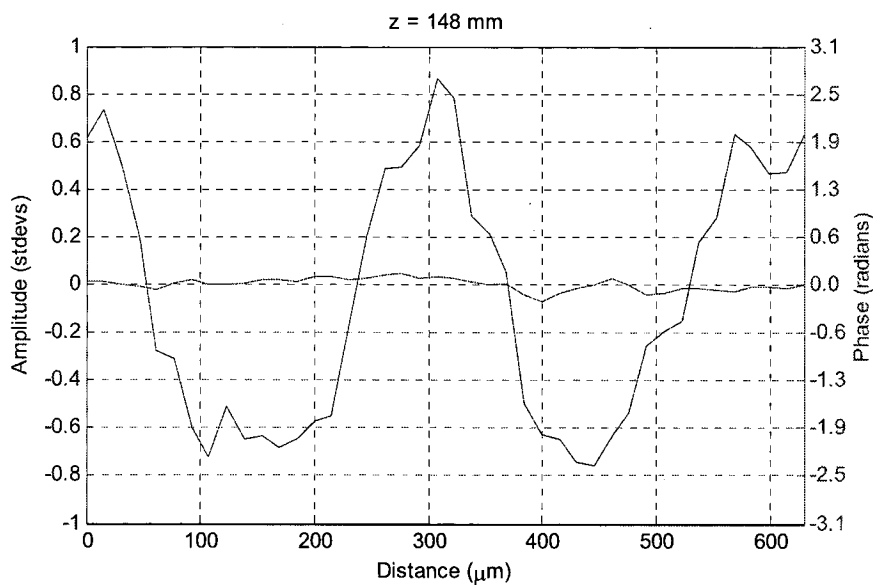


Figure 7. Cross section plot of Fig.4 (i).

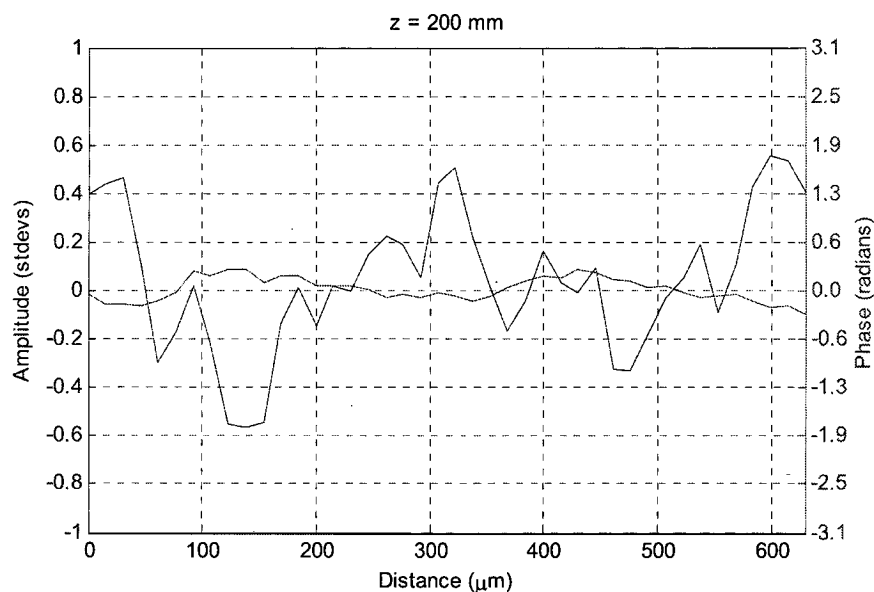


Figure 8. Cross section plot of Fig.4 (j).

5. CONCLUSION

In this paper, we, first, have measured the coherence length of laser diode by using Michelson interferometer technique. The interference pattern still stably appears at distance equal to 875 mm. However, the total distance of digital holographic fingerprint scanner in this research is not over 400 mm. For these results, this laser diode can be used as light source. By using recording technique as figure 2, the sharpest point is slightly shifted from recorded distance because plane of image is not parallel to CMOS plane. For example, when reconstructed hologram with distance equal to 152 mm, image will sharpest at other point. However, it is not created trouble for digital holography technique. The considered points of fingerprint can be found by change of reconstructed distance in the program.

6. ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported reconstructed program "HoloViewer" from Physics Department, Michigan Technological University⁸.

REFERENCES

- [1] Gabor, D., "A new microscopic principle," *Nature* 161, 777 – 778 (1948).
- [2] Schnars, U. and Juptner, W., "Direct recording of holograms by a CCD target and numerical reconstruction," *Appl. Opt.* 33(2), 179 – 181 (1994).
- [3] Xinzhu Sang, Chongxiu Yu, Miao Yu and Dashsiung Hsu, "Applications of digital holography to measurements and optical characterization," *Opt. Eng.* 50(9), 091311 (2011).
- [4] Tartagni, M. and Guerrieri R., "A fingerprint sensor based on the feedback capacitive sensing scheme," *IEEE. J. Solid-State Circuits* 33, 133 -142 (1988).
- [5] Scott, W. G., Irving, R. D., Arnold, J., Bardons, C., Halpert, D. and Parker, L. "Ultrasonic imaging of fingerprints using acoustical impediography," *IEEE. Ultras. Symp.* 1, 680 – 688 (2004).



รหัสโครงการ/รหัสสัญญา.....

แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 3 รอบ 12 เดือน ประจำปีงบประมาณ 2556

☐ แหล่งงบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ) ☒ แหล่งเงินรายได้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การถ่ายภาพลายนิ้วมือด้วยเทคนิคดิจิทัลโฮโลกราฟี

(ภาษาอังกฤษ) Fingerprint Imaging by Using Digital Holography

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน/ผู้วิจัย ดร. ประธาน บุรณศิริ

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ กันยายน 2556

ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี เดือน ตั้งแต่วันที่ ตุลาคม 2555 ถึงวันที่ กันยายน 2556

ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

1. การเบิกจ่ายงบประมาณ (กรณีการจ่ายเงินถ้าจ่ายงวดเดียวให้ลบข้อที่ไม่เกี่ยวข้องออก)

งวดที่ 1 50,000 บาท 100 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว)

2. สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้ นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวม ทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร : ค่าจ้างชั่วคราว			
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน			
ค่าใช้สอย	8,000	8,000	0
ค่าวัสดุ	42,000	42,000	0
ค่าสาธารณูปโภค			
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์			
รวม	50,000	50,000	0

(.....)

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

...../...../.....

(.....)

ลงนามเจ้าหน้าที่การเงิน/เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง

...../...../.....

หมายเหตุ : นักวิจัยหรือเจ้าหน้าที่การเงินสามารถปรับหรือเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติมข้อความได้ตามความเหมาะสมและสอดคล้องกับการดำเนินงาน อาทิเช่น นักวิจัยอยู่ระหว่างการดำเนินการเคลียร์ด้านเอกสารทางการเงิน หรือข้อความอื่นๆ

Prathan Buranasiri



Lecturer

Physics, Faculty of Science,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand, 10520.

Mobile: 083-815-4829, 084-071-0279

Tel: 02-326-4339 ext. 324, 02-737-3000 ext 6202

Fax: 02-326-4413

Email: maygal@gmail.com

EDUCATION

- **Ph.D.** Electrical and Computer Engineering, Major Electro-Optics, University of Dayton, Dayton, Ohio, U.S.A. 2006.
Thesis: Optical Correlation Using Isotropic and Anisotropic Self-Diffraction in Photorefractive material.
Advisor: Dr. Partha. P. Banerjee
- **M.S.** Physics, Major Optics, University of Alabama in Huntsville, Huntsville, Alabama, U.S.A. 2000.
Thesis: Coherent and Incoherent Self Imaging Using Photorefractive Barium Titanate Crystal.
Advisor: Dr. Partha. P. Banerjee
- **B.S.** Physics, Minor Mathematics, Ramkhamhaeng University, Bangkok, Thailand. 1993.

EXPERIENCE

03/06-present and 04/96-05/97

Lecturer, Applied Physics Department, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

- Research areas: Semiconductor Lasers, Nonlinear optics, Photonic Crystals, Optical Communication, Computational Electromagnetics, Optical tweezers Terahertz optics, Digital Holography
- Teaching areas: Fundamental Physics, Fundamental Physics Laboratory in Thai and English, Intermediate Physics Laboratory, Physical and Quantum Electronics, Lasers Physics, Physical Optics, Computational Fluid Dynamics, Polarized Light.

04/08-07/08

Visiting Scholar, Center for Biophotonics and Laser Science, Physics Department, School of Physical Sciences, University of Queensland, Brisbane, Qld 4072 Australia.

- Investigate an optical tweezers system for measurement some parameters transfer between the laser and the particle in liquids.
- Building a cheap optical tweezers system for using in undergraduate laboratory.

01/00-02/06

Research Assistant, Optical Information Processing Lab, University of Dayton,
Dayton, Ohio, U.S.A.

- Built optical systems to study incoherent diffraction of acousto-optic cells
- Built optical systems to study pattern formation by photorefractive crystals
- Set up the experiments for undergraduate optic class and high school outreach program
-

04/95-03/96

Research Assistant, Energy Research Institute, Chulalongkorn University, Bangkok,
Thailand.

- To be the secretary of nuclear energy and hydrogen energy projects.
- To collect the data for electricity outage cost project.

AWARDS AND HONORS

- Thailand Research Fund for New Faculty Member (2008)
- Royal Thai Government Fellowship for Exchanging Faculty (2007)
- Quatman Scholarship (ECE Department, University of Dayton (Winter 2006)
- Research Excellent Award (SPIE Annual Meeting 2005)
- University of Dayton Summer Fellowship (2005)
- Royal Thai Government Scholarship (1997-2003)

PUBLICATIONS

- S. Suttirak, **P. Buranasiri**, P. P. Banerjee, N. Witthayakorn, W. Neeyakorn, "Photorefractive effect in Pb-based relaxor ferroelectric materials," Proc SPIE **6793** (2008).
- S. Suttirak, **P. Buranasiri**, P. Puttanarakul, N. Witthayakorn, "A study of photorefractive effect in Pb-based relaxor ferroelectric crystals using P-scan technique," Thai Journal of Physics, **5**, 325 (2009).
- S. Wicharn, **P. Buranasiri**, W. Yindeesuk, C. E. Sunny, A. M. Sarangan, and J. W. Haus, "Metallo-dielectric photonic band gap structure simulation using transfer matrix method and Bloch functions," Thai Journal of Physics, **5**, 55 (2009).
- S. Wicharn, **P. Buranasiri**, and J. W. Haus "The defect state of metallo-dielectric photonic band gap structure and its application in optoelectronic devices" Thai Journal of Physics, **6**, (2010)
- S. Plaipichit, T Taengtung, S. Kamoldilok, and **P. Buranasiri**, "Adjustable high voltage direct current power supply for CO₂ laser controlled by digital system," Thai Journal of Physics, **6**, (2010).
- P. Pacharavarangkool, S. Wicharn, **P. Buranasiri**, "Terahertz pulse generation in air using difference frequency generation," Thai Journal of Physics, **7**, (2011)
- S. Plaipichit, **P. Buranasiri**, R. Nuansri, W. Neeyakorn, "Multi high-order anisotropic self-diffraction in Cerium doped BaTiO₃ crystal," Proc SPIE 8258, (2012).
- S. Wicharn; **P. Buranasiri**, "Parametric down conversion process in one-dimensional photonic band gap structure," Proc SPIE 8240, (2012).