Thesis Title Development of MeV Ion Beam Lithography Technique for Microfluidic Applications

Author Mr. Nitipon Puttaraksa

Degree Doctor of Philosophy (Physics)

Thesis Advisory Committee

Assoc.Prof.Dr. Somsorn Singkarat	Advisor
Prof. Harry J. Whitlow DSc, DPhil	Co–advisor
Assoc.Prof.Dr. Liangdeng Yu	Co–advisor

ABSTRACT

In this study, a novel MeV ion beam lithographic (MeV–IBL) technique, called a programmable proximity aperture lithography (PPAL) technique, was developed at the Accelerator Laboratory, University of Jyväskylä (JYU) in Finland and at the Plasma and Beam Physics Research Facility (PBP), Chiang Mai University (CMU) in Thailand. The PPAL technique utilizes a pair of computerized L–shaped aperture blades to define an irradiated rectangular or square area of 0.2–500 μm size. In combination with sample movement in X and Y directions, a complex exposure pattern can be built–up from rectangular exposed regions using this method. The structures produced by the PPAL method have special characteristics such as a high aspect ratio with vertical side walls. The PPAL approach was used for fabricating prototype microfluidic circuits, where the pattern usually consists of large reservoirs that are connected together with small micro–channel and other structures.

The PPAL technique has been shown to be suitable for fabricating 3D microstructure and the dose distributions for straight edge and internal and external corners were studied. It was found that beam fluence measurement was important for repeatable results and two methods to measure this based on backscattering from a rotating vane and measurement of intercepted ion beam charge on aperture were developed. The main part of the work was directed towards study of the fluence

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

dependence of poly(methyl methacrylate) (PMMA) resist exposure. The fluences for clearing, the onset of cross linking and complete cross linking were measured for 2 MeV protons, 3 MeV ^{4}He and 6 MeV ^{12}C ions. It was found that by selection of the ion fluence the PMMA could be used as a positive tone or negative tone resist. A pattern written in negative tone was used as a master mold for fabricating microfluidic circuits by soft–lithography in poly(dimethylsiloxane) (PDMS). This was sealed using PDMS spin coated on a glass substrate. The microfluidic device was used to generate water droplets in an oil carrier phase. Direct writing of silica was also demonstrated and the exposure characteristic for 6.8 MeV ^{16}O ions was characterised.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การพัฒนาเทคนิคลิโธกราฟีที่ใช้ลำไอออนพลังงานระดับเอ็มอีวี สำหรับการประยุกต์ของไหลระดับไมครอน

ผู้เขียน นายนิธิพนธ์ พุทธรักษา

ปริญญา วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (ฟิสิกส์)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ. ดร. สมศร สิงขรัตน์	อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
ศ. ดร. แฮร์รี่ เจ วิตโลว์	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
รศ. ดร. เหลียงเติ้ง ยู	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนานวัตกรรมเทคนิคลิโธกราฟี (lithography) ที่ใช้ลำไอออนพลังงานระดับเอ็มอีวี ที่มีชื่อเรียกว่า programmable proximity aperture lithography (PPAL) ขึ้นที่กลุ่มวิจัยฟิสิกส์เครื่องเร่งอนุภาค ณ มหาวิทยาลัยยูวาสคูลา (University of Jyväskylä) ประเทศสาธารณรัฐฟินแลนด์ และศูนย์วิจัยฟิสิกส์ของพลาสมาและลำอนุภาค ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประเทศไทย เทคนิค PPAL เป็นเทคนิคที่ใช้แผ่นกั้นลักษณะรูปตัว L หนึ่งคู่ ซึ่งควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับกำหนดช่องผ่านของลำไอออนให้เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 0.2-500 ไมครอน และเมื่อประกอบกับการเคลื่อนสารตัวอย่างไปตามตำแหน่งต่างๆ ในแกน X และแกน Y ทำให้สามารถนำมาใช้ในการสร้างลวดลายต่างๆที่สลับซับซ้อนได้ ลวดลายที่ถูกสร้างด้วยเทคนิคนี้มีสมบัติพิเศษเฉพาะตัวคือ อัตราส่วนระหว่างความลึกต่อความกว้างของลวดลายมีค่าสูง อีกทั้งผนังยังมีความเรียบตรงอีกด้วย เทคนิค PPAL สามารถนำมาใช้ในการสร้างต้นแบบวงจรของไหลระดับไมครอน (microfluidic circuit) ที่ประกอบไปด้วยโพรงเก็บของไหลหลาย ๆ โพรงเชื่อมต่อถึงกันผ่านท่อเล็กขนาดไมครอน

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าเทคนิค PPAL เหมาะแก่การนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างลวดลาย 3 มิติ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการกระจายตัวความเข้มข้นของไอออนสำหรับรูปแบบการยิงไอออนแบบขอบตรง ขอบมุมฉากภายใน และขอบมุมฉากภายนอก และได้พัฒนาระบบตรวจวัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเข้มข้นของไอออน 2 ระบบ ได้แก่ ระบบการสุ่มวัดจำนวนไอออนที่กระเจิงกลับ (backscattering) เนื่องจากกังหันใบคู่ซึ่งหมุนอย่างเป็นจังหวะสม่ำเสมอ และระบบการตรวจวัดจำนวนประจุไอออนที่พุ่งชนแผ่นกั้นรูปตัว L ซึ่งพบว่าระบบตรวจวัดความเข้มข้นของไอออนจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการทดลองที่ต้องการผลการทดลองซ้ำแบบเดิม งานศึกษาวิจัยนี้ได้วัดค่าความเข้มข้นของไอออนสำหรับการทำลิโธกราฟี การเชื่อมโยงข้ามสายพอลิเมอร์ (cross-linking) และการเชื่อมโยงข้ามสายพอลิเมอร์อย่างเต็มที่ สำหรับโปรตอนพลังงาน 2 MeV ไอออนของฮีเลียมพลังงาน 3 MeV และไอออนของคาร์บอนพลังงาน 6 MeV โดยการเลือกใช้ความเข้มข้นของไอออนที่เหมาะสมทำให้ PMMA สามารถนำมาใช้ในการสร้างลวดลายในสมบัติแบบ positive resist หรือแบบ negative resist ลวดลายที่สร้างขึ้นจาก PMMA ในสมบัติแบบ negative resist ถูกนำมาใช้เป็นแม่พิมพ์สำหรับการสร้างวงจรของไหลระดับไมครอนบนพอลิเมอร์ชนิด poly(dimethylsiloxane) (PDMS) ด้วยเทคนิค soft-lithography ซึ่งถูกปิดผนึกด้วยแผ่นฟิล์มบาง PDMS ที่เคลือบบนแผ่นสไลด์แก้ว โดยอุปกรณ์ของไหลระดับไมครอนนี้ถูกนำมาใช้ในการผลิตหยดน้ำในตัวกลางน้ำมัน นอกจากนี้ได้ใช้ไอออนของออกซิเจนพลังงาน 6.8 MeV ในการศึกษาสมบัติเฉพาะการยิงด้วยไอออนและสร้างลวดลายลงบนวัสดุซิลิกาอสัณฐาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved