



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การชดเชยขนาด Plating บนวงจรรวม GQFN จากการกัดโดยใช้น้ำยาเคมี
Plating Compensation of GQFN Package from Wet Etching Process

นายวฤทธิ์ สุขสวัสดิ์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การชดเชยขนาด Plating บนวงจรรวม GQFN จากการกัดโดยใช้น้ำยาเคมี
Plating Compensation of GQFN Package from Wet Etching Process

นายวฤทธิ์ สุขสวัสดิ์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การชดเชยขนาด Plating บนวงจรรวม GQFN จากการกัดโดยใช้น้ำยาเคมี

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายวฤทธิ์ สุขสวัสดิ์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ อ.ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน คุณศิริประภา ปัญญโรจน์

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท ยูแทคไทย จำกัด

บทคัดย่อ

โครงการสหกิจศึกษานี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ สร้างแนวทางในการชดเชยขนาดของ plating บนวงจรรวม GQFN (Grid Array Quad Flat No Lead) ที่เหมาะสมต่อกระบวนการกัดโดยใช้น้ำยาเคมี การประกอบวงจรรวม GQFN มีกระบวนการหนึ่งซึ่งใช้กรรมวิธีทางเคมีเพื่อกัดชิ้นงานให้เป็นลายวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมา โดยที่ขั้นตอนนี้ส่งผลให้ Plating มีขนาดเล็กลง มีผลมาจากการเกิด Undercutting ทำให้ลายวงจรมีลักษณะที่ไม่สมบูรณ์ ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้สามารถแก้ไขได้โดยการชดเชยขนาดของ Plating อย่างเหมาะสม

จากการทดลองพบว่าการกัดชิ้นงานโดยใช้น้ำยาเคมีก่อให้เกิด Undercutting ได้หลายขนาด ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำยาเคมีและความลึกในการกัดชิ้นงาน นอกจากนี้รูปร่าง ขนาดและความกว้างของช่องว่างระหว่าง Plating ก่อนการกัดชิ้นงานยังส่งผลต่อขนาดของ Undercutting ที่จะเกิดขึ้นอีกด้วย แต่เนื่องจากความเข้มข้นและส่วนผสมของสารต่างๆในน้ำยาเคมีถูกกำหนดโดยผู้ขาย และความลึกในการกัดชิ้นงานถูกกำหนดโดยลูกค้า ขอบเขตการศึกษาจึงพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยอื่นๆที่เหลือเพื่อควบคุมขนาดของ Undercutting ที่จะเกิดขึ้น แล้วสร้างเป็นแนวทางในการชดเชยขนาดของ plating เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

คำสำคัญ : การชดเชยขนาดของ Plating การกัดชิ้นงานโดยใช้น้ำยาเคมี วงจรรวม GQFN

Research Title: Plating Compensation of GQFN Package from Wet Etching Process

Student Intern Name: Mr. Warit Suksawat

Faculty: Engineering

Department: Chemical Engineering

Advisors Name: Lecturer. Siripan Murathathunyaluk

Mentor name: Miss Siraprapa Panyarot

Company: Utac Thai Limited

Abstract

Cooperative education project has been prepared for establishing the guidelines for compensating the size of plating on the IC GQFN (Quad Flat No Lead Grid Array) that suitable to wet etching process. GQFN integrated circuit assembly which uses chemical methodologies to be etching as the electronic pattern. By this stage, resulting smaller plating due to the occurrence of undercutting that makes the circuit has problem. It can be solved by offset size of plating appropriately.

The results showed various undercutting size cause by wet etching process depending on solvent concentration and etching depth. In addition, size and gap between plating before assembly affect to undercutting size. But solvent concentration and chemical component are determined by vender and etching depth by customer. The scope of the considered impact factors from others to control the undercutting size, then build guidelines to compensate plating size for ease of use.

Keywords: Plating compensating, Wet etching process, GQFN IC

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการสหกิจศึกษานี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์ และบุคคล
ทั้งหลายฝ่ายดังนี้

ขอขอบคุณ คุณศิริประภา ปัญญโรจน์ วิศวกรชำนาญการ พนักงานที่ปรึกษา และพี่ๆทุกคนที่
เกี่ยวข้องจากบริษัท ยูแทคไทย จำกัด ที่ให้คำแนะนำทั้งด้านการประกอบวิชาชีพในฐานะวิศวกรและ
ทางด้านความคิดในการดำเนินชีวิต

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการสหกิจศึกษา ที่ให้
คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไข ทำให้โครงการสหกิจศึกษานี้แล้วเสร็จอย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณส่วนงานกิจการนักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครูอาจารย์ทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจ
ตลอดมาหากมีสิ่งผิดพลาดประการใดผู้จัดทำขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

วฤทธิ์ สุขสวัสดิ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	
ภาษาไทย.....	III
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	IV
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 วงจรรวม.....	3
2.2 วงจรรวม GQFN (Grid Array Quad Flat No Lead)	4
2.3 การประกอบวงจรรวม GQFN.....	4
2.4 กล้อง High Resolution 3D Surface Profile และ โปรแกรม Olympus Lext.....	7
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	9
3.1 การเตรียมชิ้นงานก่อนกระบวนการกัดชิ้นงานโดยใช้น้ำยาเคมี.....	9
3.2 การกัดชิ้นงานโดยใช้น้ำยาเคมี.....	9
3.3 การวัดขนาดของ Plating และ ความลึกจากการกัดชิ้นงาน.....	10
3.4 การสร้างกราฟจากผลการทดลอง.....	10
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	11
4.1 ผลการวัดขนาด Plating และ ความลึกจากการกัดชิ้นงาน.....	11
4.2 ผลของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อขนาดของ Undercutting.....	29
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ.....	33

5.1 สรุปผลการวิจัย.....	33
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	34
เอกสารอ้างอิง.....	35
ภาคผนวก.....	36

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 องค์ประกอบของสารเคมีในน้ำยาเคมีที่ใช้ในงานกัดทองแดงบนวงจรรวม GQFN	5
ตารางที่ 4.1-59 ผลการทดลอง.....	11

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์สำหรับวงจรรวม.....	3
ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างวงจรรวม GQFN.....	4
ภาพที่ 2.3 สมการเคมีที่เกิดขึ้นในหน่วยกัตทองแดงสร้างลวดลายวงจร.....	5
ภาพที่ 2.4 ขั้นตอนการกัดและการปรับสภาพชิ้นงานในหน่วยกัตทองแดงสร้างลวดลายวงจร.....	6
ภาพที่ 2.5 ลักษณะการกัดแบบ Isotropic wet etching และ Anisotropic wet etching.....	6
ภาพที่ 2.6 กล้อง High Resolution 3D Surface Profile และ โปรแกรม Olympus Lext.....	7

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

วงจรรวม (Integrated Circuit ; IC) คือวงจรรวมอิเล็กทรอนิกส์ที่นำเอาไดโอด ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และองค์ประกอบวงจรต่างๆ มาประกอบรวมกันบนแผ่นวงจรรวมขนาดเล็กที่เป็นวัสดุกึ่งตัวนำไฟฟ้า เช่น ซิลิกอน วงจรรวมเหล่านี้ถือเป็นชิ้นส่วนสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมผลิตคอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์ในระบบการทำงานของรถยนต์ และอุปกรณ์ทางการแพทย์ รวมถึงหน่วยควบคุมเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมอีกด้วย ซึ่งวงจรรวมจะมีโครงสร้างที่แตกต่างกันตามลักษณะการใช้งาน

วงจรรวม GQFN (Grid Array Quad Flat No Lead) [1] คือวงจรรวมที่มีรูปแบบการส่งผ่านสัญญาณไฟฟ้าจากภายในโครงสร้างสู่ภายนอกผ่านชั้นฟิล์มบางๆที่มีลักษณะเป็นลายวงจร โดยที่ชั้นฟิล์มบางๆนี้คือสารประกอบโลหะ นิกเกิล พาลาเดียมและทองคำบริสุทธิ์ ซึ่งถูกเรียกว่า Plating การประกอบวงจรรวม GQFN มีกระบวนการหนึ่งซึ่งใช้กรรมวิธีทางเคมีเพื่อกัดชิ้นงานให้เป็นลายวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมา โดยที่ขั้นตอนนี้ส่งผลให้ Plating มีขนาดเล็กลง มีผลมาจากการเกิด Undercutting ทำให้ลายวงจรมีลักษณะที่ไม่สมบูรณ์ ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ทำให้เกิดความสูญเสียชิ้นงานจากการประกอบเป็นจำนวนมาก

โครงการสหกิจศึกษานี้จึงจัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแนวทางในการลดขนาดของ Plating บนวงจรรวม GQFN (Grid Array Quad Flat No Lead) ที่เหมาะสมต่อกระบวนการกัด โดยใช้น้ำยาเคมี และยังมีส่วนช่วยลดทรัพยากรที่ใช้ในการประกอบชิ้นงานให้กับ บริษัท ยูเทคไทย จำกัด ผู้จัดทำหวังว่าโครงการนี้จะเป็นประโยชน์ต่อบริษัทและผู้ที่มีความสนใจ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อสร้างแนวทางในการลดขนาดของ Plating ที่เหมาะสมสำหรับการประกอบวงจรรวม GQFN

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษากระบวนการประกอบวงจรรวม GQFN

1.3.2 ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิด Undercutting และแนวทางการแก้ปัญหา

1.3.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของ Plating ที่ความลึกค่าต่างๆในการกัดชิ้นงาน ด้วยกล้อง High Resolution 3D Surface Profile และโปรแกรม Olympus Lext

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาลายวงจรของวงจรรวม GQFN ทุกๆแพคเกจจของบริษัท ยูเทคไทย จำกัด

1.4.2 ศึกษาปัจจัยที่ก่อให้เกิด undercutting จากการประกอบวงจรรวม GQFN

1.4.3 ตั้งสมมติฐานและออกแบบการทดลอง

1.4.4 ทำการทดลองและบันทึกผลการทดลอง ด้วยกล้อง High Resolution 3D Surface Profile และโปรแกรม Olympus Lext

1.4.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.4.6 สร้างแนวทางในการชดเชยขนาด Plating ที่เหมาะสมสำหรับการประกอบวงจรรวม GQFN

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำแนวทางในการชดเชยขนาด Plating ไปใช้งานในส่วนของการออกแบบลายวงจรได้อย่างเหมาะสมสำหรับการประกอบวงจรรวม GQFN และยังช่วยแก้ไขปัญหาด้านลายวงจร มีลักษณะไม่สมบูรณ์เมื่อนำไปผ่านกระบวนการกัดโดยใช้น้ำยาเคมีได้

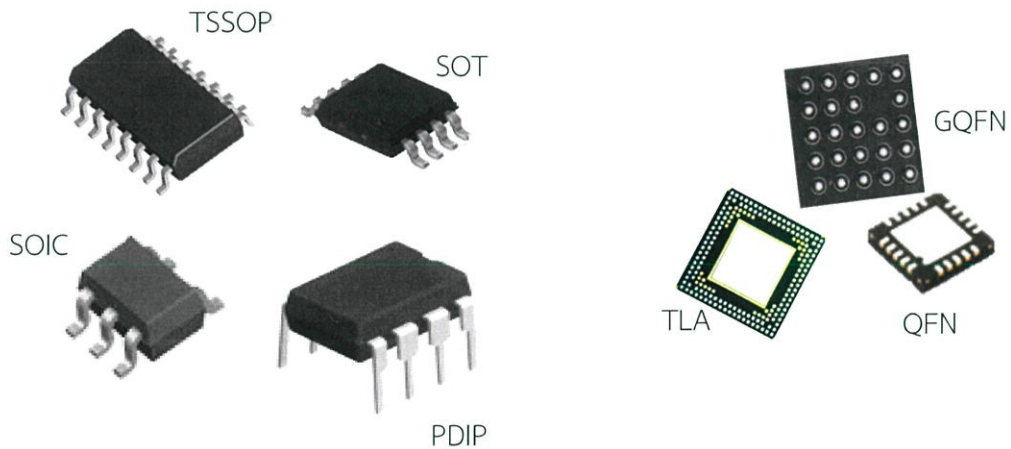
บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. วงจรรวม [1]

วงจรรวม หมายถึง วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่นำเอาไดโอด ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และองค์ประกอบวงจรต่าง ๆ มาประกอบรวมกันบนแผ่นโลหะขนาดเล็ก มีคุณสมบัติเป็นวัสดุกึ่งตัวนำไฟฟ้า ตัวอย่างวงจรรวมที่มีความซับซ้อนสูงอย่าง ไมโครโปรเซสเซอร์ ใช้ในการทำงานสำหรับควบคุมระบบคอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน เครื่องใช้ไฟฟ้า ระบบปฏิบัติการในรถยนต์ รวมถึงอุปกรณ์ควบคุมเครื่องจักรในโรงงาน วงจรรวมมีความหลากหลายของแพ็คเกจหรือลักษณะของบรรจุภัณฑ์ขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่ติดตั้งและลักษณะของงาน

บริษัท ยูแทคไทย จำกัด ได้จำแนกประเภทของผลิตภัณฑ์วงจรรวมเป็น 2 ประเภทหลัก คือ วงจรรวมมีขา (Leaded Package) และวงจรรวมไร้ขา (Leadless Package) [2]

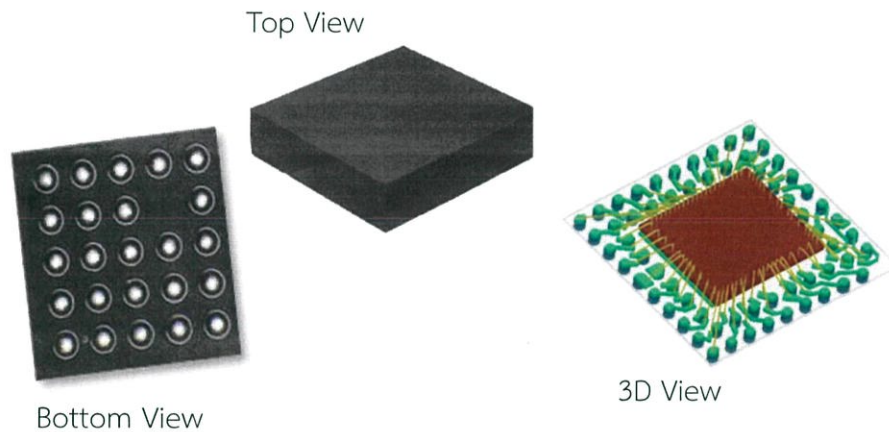


ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์สำหรับวงจรรวม

ที่มา : บริษัท ยูแทคไทย จำกัด

2.2 วงจรรวม GQFN [2]

วงจรรวม GQFN (Grid Array Quad Flat No Lead) คือ วงจรรวมที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้วงจรรวมที่มีประสิทธิภาพของการทำงานที่เพิ่มขึ้นภายใต้ขนาดที่เล็กลง เหมาะกับการติดตั้งในพื้นที่จำกัด โดยการใช้ Plating เป็นตัวกลางในการรับส่งสัญญาณระหว่างภายในและภายนอกแพ็คเกจทำหน้าที่เป็นขาสำหรับวงจรรวมที่ไม่มีขา Plating มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ทำจากสารประกอบโลหะ พลาเตียม นิกเกิล และทองคำบริสุทธิ์



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างวงจรรวม GQFN

ที่มา : บริษัท ยูแทคไทย จำกัด

2.3 การกัดโลหะด้วยน้ำยาเคมี [3]

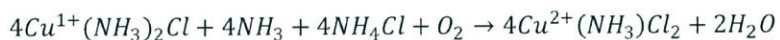
การกัดโลหะด้วยน้ำยาเคมี เป็นกรรมวิธีหนึ่งในกระบวนการประกอบวงจรรวม คือกัดผิวทองแดงสร้างเป็นลวดลายวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ทฤษฎีการละลายโลหะให้อยู่ในรูปไอออนละลายอยู่ในสารละลาย โดยการชุบสารป้องกันการกัดกร่อนบนผิวทองแดงให้เป็นลวดลายวงจร (วงจรรวมที่ไม่มีขาจะใช้สารประกอบโลหะพลาเตียม นิกเกิล และทองคำบริสุทธิ์เป็นสารป้องกันการกัดกร่อน)[2] ทองแดงส่วนที่ถูกปกป้องด้วยสารป้องกันการกัดกร่อนจะไม่ถูกกัดออกไป ทำให้เกิดเป็นลวดลายของวงจร สำหรับโครงการงานสหกิจนี้ การกัดโลหะด้วยน้ำยาเคมีเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการประกอบวงจรรวม GQFN ทองแดงบางส่วนจะชุบด้วยสารต้านทานการกัดกร่อนคือสารประกอบโลหะพลาเตียม นิกเกิล และทองคำบริสุทธิ์ หรือที่เรียกว่า Plating

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการกัดทองแดงด้วยน้ำยาเคมี [4] แสดงดังนี้

- The etching reaction



- The regeneration reaction



ภาพที่ 2.3 สมการเคมีที่เกิดขึ้นในหน่วยกัดทองแดงสร้างลวดลายวงจร

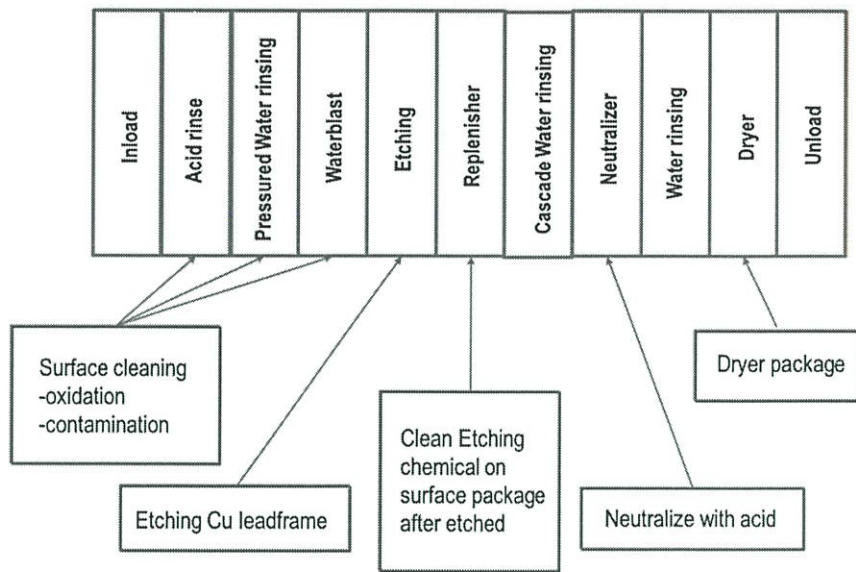
ที่มา : บริษัท ยูแทคไทย จำกัด

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างทองแดงและสารละลายที่มีส่วนประกอบหลักเป็นทองแดงไอออนและคลอไรด์ไอออน มีการเพิ่มสารเติมแต่งเพื่อให้ได้สารละลายที่เหมาะสมกับงานกัดลวดลายวงจรอิเล็กทรอนิกส์ อุณหภูมิและค่า pH จะถูกควบคุมให้อยู่ในสถานะที่กำหนดตลอดเวลา ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทำให้ทองแดงสลายตัวเป็นไอออนบวกละลายผสมไปกับสารละลาย

ตารางที่ 1.1 องค์ประกอบของสารเคมีในน้ำยาเคมีที่ใช้ในงานกัดทองแดงบนวงจรรวม GQFN[4]

Copper content	110 to 125 (g/l)
Chloirde content	4.0 to 6.4 (mol/l)
pH	7.9 to 8.2
Specific gravity@25°C	1.14 to 1.20
pH Replenisher	7.8 to 10.0
Sulfuric acid	90 to 110 (ml/l)

หน่วยกััดทองแดงสร้างลวดลายวงจรมีขั้นตอนการดำเนินการ[4]ดังนี้

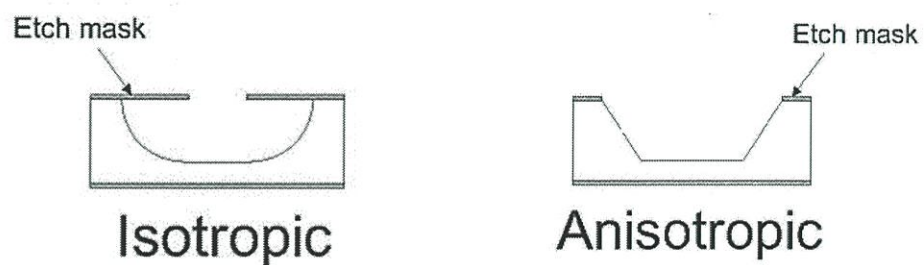


ภาพที่ 2.4 ขั้นตอนการกััดและการปรับสภาพชิ้นงานในหน่วยกััดทองแดงสร้างลวดลายวงจ
ที่มา : บริษัท ยูแทคไทย จำกัด

เนื่องจากชิ้นงานมีการสัมผัสกับน้ำยาเคมีที่มีอันตรายและมีสีที่ปนเปื้อนอยู่บนชิ้นงาน ส่งผลต่อคุณภาพของสินค้า จึงต้องมีขั้นตอนการ Regenerate เพื่อปรับคุณภาพของชิ้นงานให้เหมาะสม เช่นการล้างน้ำยาเคมีด้วยสารละลายในขั้นตอน Replenisher การปรับค่า pH เนื่องจากน้ำยาที่ใช้กััดมีความเป็นเบส การเป่าแห้งด้วยลมร้อนที่ผ่านการตีไอออนเพื่อให้ชิ้นงานไม่มี Contaminate ที่เกิดจากประจุที่เข้ามารบกวน

ลักษณะของการกััดชิ้นงาน [3]

การกััดโลหะด้วยน้ำยาเคมี มีลักษณะการกััด 2 ประเภท คือ Isotropic Wet Etching และ Anisotropic Wet Etching

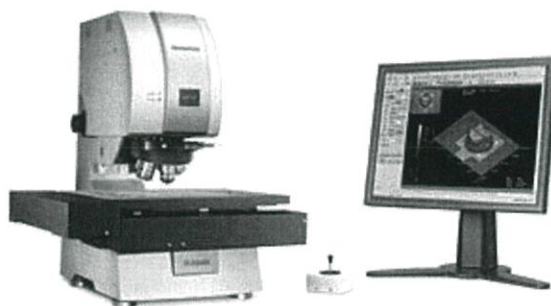


ภาพที่ 2.5 ลักษณะการกััดแบบ Isotropic wet etching และ Anisotropic wet etching
ที่มา : MEMS and Nanotechnology community

กระบวนการกัดสร้างลวดลายวงจรรวม มีลักษณะการกัดประเภท Isotropic Wet Etching แผ่นทองแดงที่ใช้ผ่านการชุบสารป้องกันการกัดกร่อนจากน้ำยาเคมีเป็นลวดลายวงจรรวม สารป้องกันการกัดกร่อนจากน้ำยาจะทำหน้าที่เป็น Etch mask เมื่อสิ้นสุดกระบวนการกัดชิ้นงานด้วยน้ำยาเคมี น้ำยาเคมีจะแทรกผ่านช่องว่างบริเวณที่ไม่มีสารป้องกันการกัด ทองแดงจะถูกกัดออกไป เกิดเป็นช่องว่าง Etch mask ที่ไม่มีทองแดงรองรับจะถูกเรียกว่า Undercutting และจะถูกเป่าให้หลุดออกไปในกระบวนการทำความสะอาดพื้นผิวชิ้นงานต่อไป

2.4 กล้อง High Resolution 3D Surface Profile และ โปรแกรม Olympus Lext

อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดความหยาบของพื้นผิวชิ้นงาน สามารถวัดขนาดของ Plating และความลึกจากการกัดผิวทองแดงได้ ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนจับภาพ มีลักษณะเป็นกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 5x 10x 20x 50x และ 100x และส่วนประมวลผลซึ่งเป็นโปรแกรมซอฟต์แวร์ของ Olympus Lext



ภาพที่ 2.6 กล้อง High Resolution 3D Surface Profile และ โปรแกรม Olympus Lext

ที่มา : Imaging & Microscopy

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Daniel Ting Lee Teh [] ได้ทำการพัฒนางจรรวม GQFN ให้เป็นจรรวมที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงและมีขนาดที่เล็กลงเหมาะกับการติดตั้งในพื้นที่จำกัด และได้ศึกษาขั้นตอนการประกอบจรรวม GQFN จนสามารถผลิตเพื่อจำหน่ายได้ ซึ่งประกอบไปด้วย ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนจรรวม เชื่อมวงจรด้วยลวดทองแดง ฉีดพลาสติกขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ กัดชิ้นงานสร้างลวดลายวงจร และ ฉีดพลาสติกอีกครั้ง

Kyaw Ko Lwin [] ได้ทำการศึกษาการสร้างลวดลายบนจรรวม GQFN โดยใช้สารประกอบโลหะ นิกเกิล พลาเตียม และทองคำบริสุทธิ์ เป็นสารสื่อไฟฟ้าเพื่อเป็นตัวกลางในการรับส่งสัญญาณจากภายในวงจรสู่ภายนอกแทนการใช้ขาสีด และยังเป็นสารป้องกันการกัดกร่อนจากน้ำยาเคมีอีกด้วย

Miguel A. Gosálvez [] ได้ทำการศึกษาการกัดซิลิกอนด้วยน้ำยาเคมีเพื่อศึกษาลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการกัดด้วยน้ำยาเคมี พบว่ามี 2 ลักษณะคือ Isotropic และ Anisotropic Wet Etching

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

โครงการสหกิจศึกษานี้ได้ทำการศึกษาลักษณะของผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยด้านรูปร่าง ขนาด และความกว้างของช่องว่างระหว่าง Plating ก่อนการกัดชิ้นงาน ต่อขนาดที่หายไปของ Plating เมื่อกระบวนการกัดโดยใช้น้ำยาเคมีได้สิ้นสุดลง เพื่อนำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกจากการกัดชิ้นงานและขนาดของ Plating ที่ความลึกจากการกัดนั้นๆ โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.1 การเตรียมชิ้นงานก่อนกระบวนการกัดชิ้นงานโดยใช้น้ำยาเคมี

3.1.1 เตรียมแผ่นทองแดง (Leadframe) ขนาด 70x250 มิลลิเมตร ความหนา 1 มิลลิเมตร ที่ผ่านการชุบด้วยสารป้องกันการกัดกร่อนจำนวน 5 แผ่นต่อหมายเลขสติกวอร์รวม GQFN รวม 52 หมายเลข 260 แผ่น

3.1.2 นำ Leadframe ไปผ่านกระบวนการโมลคอมปาวเพื่อจำลองชิ้นงานให้ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ Leadframe จะถูกฉีดพลาสติกสีดำเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมโดยความหนาจะขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกที่ฉีดเข้าไป การทดลองนี้กำหนดชนิดของพลาสติกเป็นชนิดเดียวกันตลอดการทดลอง

3.1.3 ทำการลอกแผ่นเทปออกจาก Leadframe นำไปทำความสะอาดคราบขาวด้วยกระบวนการ Water Jet จัดใส่แม่กาซีน โดยปรับโปรแกรมให้เป็นการทำความสะอาดคราบขาวก่อนการกัดของวงจรรวม GQFN

3.2 การกัดชิ้นงานโดยใช้น้ำยาเคมี

3.2.1 นำ Leadframe ที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานก่อนกระบวนการกัด จัดใส่ถาดสำหรับหน่วยกัดชิ้นงาน 1 Leadframe ต่อ 1 ถาด โดยถาดของหน่วยกัดจะมีช่องสำหรับใส่ Leadframe ด้วยกันทั้งหมด 8 ช่อง แบ่งเป็น 2 แถว 4 คอลัมน์ เลือกใส่ Leadframe ที่แถวที่ 1 คอลัมน์ที่ 2

3.2.2 นำถาดที่มี Leadframe ใส่อยู่เข้ากระบวนการกัดชิ้นงานโดยทำการตั้งค่าความเร็วของสายพานลำเลียงและแรงดันหัวฉีดน้ำยาเคมีในหน่วยกัดนี้ตามที่กำหนดไว้ ใช้เวลาประมาณ 15 นาที เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการกัดชิ้นงานของถาดแรกแล้ว จึงใส่ถาดที่สองต่อไปจนครบ 5 ถาดสำหรับหมายเลขสติกวอร์รวม GQFN 1 หมายเลข โดยความเร็วของสายพานและแรงดันหัวฉีดจะถูกปรับให้มีความสารถในการกัดลดลงเรื่อยๆ จาก สูงสุด สูง ปานกลาง ต่ำ และต่ำที่สุดตามลำดับ

3.2.3 นำไปทำความสะอาดผิวหน้าของชิ้นงานที่หน่วย Water Jet จัดใส่แมกกาซีน ปรับโปรแกรมให้เป็นการทำความสะอาดชิ้นงานหลังการกัดของวงจรรวม GQFN ทำซ้ำจนครบทั้ง 260 แผ่น

3.3 การวัดขนาดของ Plating และความลึกจากการกัดชิ้นงาน

3.3.1 นำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการกัดโดยใช้น้ำยาเคมี ไปวัดขนาด Plating และความลึกจากการกัด ด้วยกล้อง High Resolution 3D Surface Profile และโปรแกรม Olympus Lext

3.3.2 นำชิ้นงานไปวางบนแท่นสำหรับส่องด้วยกล้อง High Scope ปรับกำลังขยายไปที่ 5 เท่า เปิดโปรแกรม Olympus Lext จากนั้นจึงเปิดกล้อง ปรับระยะโฟกัสให้ชัดที่สุด กำหนดจุดที่ต้องการจะวัดค่า

3.2.3 วัดความกว้างของ Plating บนที่กผล โดยจะกำหนดจุดวัด 2 จุดต่อ 1 ยูนิต โดย Leadframe หนึ่งๆจะทำการวัดทั้งหมด 15 ยูนิต รวม 30 จุด

3.2.4 ปรับกำลังขยายเป็น 20 เท่า เปลี่ยนโหมดกล้องสำหรับการสแกนพื้นผิว ทำการสแกนพื้นผิว 1 จุด ต่อ 1 ยูนิต โดย Leadframe หนึ่งๆจะทำการวัดทั้งหมด 15 ยูนิต รวม 15 จุด

3.3.5 นำค่าที่ได้จากการทดลองมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกจากการกัดต่อขนาดของ Plating ที่ความลึกจากการกัดนั้นๆ

3.4 การสร้างกราฟจากผลการทดลอง

3.4.1 สร้างกราฟจากความสัมพันธ์ระหว่างความลึกจากการกัดชิ้นงานและขนาดของ Plating ที่ความลึกจากการกัดนั้นๆ

3.4.2 สร้างจุดลงบนกราฟ โดยใช้ค่าเฉลี่ยขนาด Plating จาก 30 จุด และค่าความลึกจากการกัด 15 จุด ต่อชิ้นงาน 1 ชิ้น โดยกำหนดให้ความลึกจากการกัดเป็นแกน X และของ Plating เป็นแกน Y โดยจุดที่ได้จะเกิดจาก Leadframe ที่มีหมายเลขสต็อกวงจรรวม GQFN เดียวกันจำนวน 5 ชิ้น

3.4.3 ลากเส้นแนวโน้มผ่านจุดทั้ง 5 จะได้เป็นกราฟแนวทางในการชดเชยขนาดของ Plating ทั้งหมด 52 กราฟ

บทที่ 4

ผลการวิจัย

โครงการสหกิจศึกษาได้ทำการศึกษาลักษณะของผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยด้านรูปร่าง ขนาด และความกว้างของช่องว่างระหว่าง Plating ก่อนการกัดชิ้นงาน ต่อขนาดที่หายไปของ Plating เมื่อกระบวนการกัดโดยใช้น้ำยาเคมีได้สิ้นสุดลง เพื่อนำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกจากการกัดชิ้นงานและขนาดของ Plating ที่ความลึกจากการกัดนั้นๆ โดยผลการทดลองแสดงดังนี้

4.1 ผลการวัดขนาด Plating และความลึกจากการกัดชิ้นงาน

ผลที่บันทึกจะถูกแบ่งตามลักษณะของรูปร่าง ขนาดก่อนการกัดชิ้นงาน และระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของแต่ละ Plating ซึ่งถูกเรียกว่า Pitch

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.30 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.40 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
78.1558	0.1814	0.1186
84.8427	0.1613	0.1387
93.8681	0.1560	0.1440
85.0451	0.1597	0.1403
66.1555	0.1930	0.1070

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.29 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.40 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
67.2125	0.1752	0.1148
62.0803	0.1843	0.1057
60.8713	0.1839	0.1061
76.3395	0.1658	0.1242
92.0792	0.1309	0.1591

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.27 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.40 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
79.9993	0.1531	0.1169
69.9320	0.1648	0.1052
66.9835	0.1705	0.0995
85.4697	0.1478	0.1222
92.9987	0.1305	0.1395

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.37 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.50 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
82.4372	0.2529	0.1171
85.2300	0.2447	0.1253
73.3823	0.2698	0.1002
96.0003	0.2350	0.1350
66.7949	0.2726	0.0974

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.35 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.50 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
75.1709	0.2523	0.0977
78.3609	0.2481	0.1019
64.9069	0.2656	0.0844
61.7296	0.2698	0.0802
92.3736	0.2230	0.1270

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.34 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.50 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
68.0641	0.2627	0.0773
72.2813	0.2583	0.0817
78.8443	0.2560	0.0840
98.0641	0.2283	0.1117
84.0641	0.2395	0.1005

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.30 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.50 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
65.3323	0.1807	0.1193
58.1979	0.1900	0.1100
98.9989	0.1160	0.1840
75.3476	0.1770	0.1230
85.0451	0.1606	0.1394

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.27 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.50 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
82.9484	0.1415	0.1285
95.1277	0.1287	0.1413
86.9538	0.1402	0.1298
79.2492	0.1487	0.1213
64.1618	0.1754	0.0946

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.37 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.65 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
69.6377	0.2793	0.0907
80.4959	0.2716	0.0984
93.0451	0.2490	0.1210
59.0451	0.2932	0.0768

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.39 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.80 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
74.6105	0.2967	0.0933
78.3609	0.2918	0.0982
71.8312	0.3004	0.0896
67.0044	0.3064	0.0836
91.9668	0.2753	0.1147

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความ กว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.30 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.40 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
74.3931	0.2304	0.0696
80.9997	0.2244	0.0756
70.4650	0.2341	0.0659
75.0000	0.2299	0.0701
96.0003	0.2102	0.0898

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.29 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.40 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
81.3600	0.2008	0.0892
70.4650	0.2127	0.0773
93.0451	0.1879	0.1021
67.0044	0.2165	0.0735
74.6105	0.2082	0.0818

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.28 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.40 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
86.0023	0.1876	0.0924
69.1516	0.2057	0.0743
84.4087	0.1893	0.0907
74.4920	0.2099	0.0701
95.7721	0.1771	0.1029

ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.27 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.40 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
72.4995	0.1918	0.0782
68.7962	0.1958	0.0742
69.6139	0.1949	0.0751
93.0451	0.1720	0.0980
67.0044	0.1977	0.0723

ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.26 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.40 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
87.2927	0.1648	0.0952
81.9717	0.1707	0.0893
91.1100	0.1608	0.0992
74.6105	0.1789	0.0811
67.0044	0.1870	0.0730

ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.25 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.40 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
92.0136	0.1466	0.1034
88.2424	0.1505	0.0995
74.6105	0.1660	0.0840
67.0044	0.1745	0.0755
78.3609	0.1617	0.0883

ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.28 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.41 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
77.9837	0.1877	0.0923
66.7949	0.2009	0.0791
96.0003	0.1664	0.1136
75.1709	0.1911	0.0889
84.0641	0.1834	0.0966

ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.35 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.45 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
74.3901	0.2754	0.0746
82.4372	0.2673	0.0827
66.7949	0.2830	0.0670
92.0792	0.2577	0.0923
88.2424	0.2615	0.0885

ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.30 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.45 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
84.4087	0.2013	0.0987
74.6105	0.2128	0.0872
67.0044	0.2217	0.0783
93.0451	0.1913	0.1087
78.1558	0.1988	0.1012

ตารางที่ 4.20 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.34 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.46 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
69.9633	0.2487	0.0913
68.8117	0.2519	0.0881
78.7982	0.2429	0.0971
87.8991	0.2193	0.1207
93.2132	0.2054	0.1346

ตารางที่ 4.21 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.29 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.46 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
91.9398	0.1816	0.1084
88.2424	0.1860	0.1040
74.6105	0.2020	0.0880
67.0044	0.2198	0.0702
84.0641	0.1909	0.0991

ตารางที่ 4.22 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.30 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.50 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
65.5707	0.2260	0.0740
77.0030	0.2133	0.0867
67.0044	0.2243	0.0757
84.0641	0.2053	0.0947
93.0451	0.1952	0.1048

ตารางที่ 4.23 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.34 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.51 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
81.9717	0.2568	0.0832
93.8681	0.2448	0.0952
74.6105	0.2643	0.0757
66.7949	0.2723	0.0677
92.0792	0.2465	0.0935

ตารางที่ 4.24 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.30 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.51 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
76.4080	0.2302	0.0698
94.7043	0.2120	0.0880
71.2424	0.2337	0.0663
85.5036	0.2200	0.0800
69.3678	0.2353	0.0647

ตารางที่ 4.25 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.45 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.55 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
70.4650	0.3793	0.0707
82.7350	0.3670	0.0830
66.7949	0.3830	0.0670
92.3736	0.3573	0.0927
74.3901	0.3753	0.0747

ตารางที่ 4.26 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.35 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.55 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
75.4897	0.2764	0.0736
91.9668	0.2603	0.0897
66.7949	0.2850	0.0650
84.8427	0.2673	0.0827
78.2879	0.2737	0.0763

ตารางที่ 4.27 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.34 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.56 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
88.5120	0.2524	0.0876
73.1669	0.2726	0.0674
92.4120	0.2534	0.0866
65.4459	0.2802	0.0598
78.7982	0.2670	0.0730

ตารางที่ 4.28 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.29 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.58 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
78.6251	0.1627	0.1273
68.5573	0.1960	0.0940
69.8586	0.1858	0.1042
87.8991	0.1582	0.1318
93.2132	0.1502	0.1398

ตารางที่ 4.29 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.50 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.60 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
84.0839	0.4082	0.0918
69.6119	0.4240	0.0760
78.2879	0.4144	0.0856
92.3736	0.3992	0.1008
80.4959	0.4121	0.0879

ตารางที่ 4.30 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.44 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.65 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
88.5120	0.3455	0.0945
69.9633	0.3600	0.0800
78.7982	0.3512	0.0888
93.2132	0.3368	0.1032
71.2424	0.3588	0.0812

ตารางที่ 4.31 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.40 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.65 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
78.1600	0.3210	0.0790
61.5560	0.3391	0.0609
72.4995	0.3287	0.0713
65.5707	0.3370	0.0630
81.9717	0.3185	0.0815

ตารางที่ 4.32 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.39 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.65 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
66.7420	0.2882	0.1018
80.7620	0.2595	0.1305
65.8060	0.2820	0.1080
89.6950	0.2428	0.1472
95.6273	0.2337	0.1563

ตารางที่ 4.33 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.35 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.65 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
73.0490	0.2914	0.0586
78.1558	0.2873	0.0627
84.5521	0.2821	0.0679
93.8681	0.2746	0.0754
66.1555	0.2968	0.0532

ตารางที่ 4.34 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.32 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.65 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
77.0484	0.2257	0.0943
94.7043	0.2156	0.1044
71.2424	0.2452	0.0748
85.5036	0.2278	0.0922
74.2278	0.2417	0.0783

ตารางที่ 4.35 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.325 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.655 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
73.1669	0.2481	0.0769
64.0984	0.2634	0.0616
76.4457	0.2521	0.0729
80.0588	0.2466	0.0784
94.7043	0.2304	0.0946

ตารางที่ 4.36 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.34 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.70 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
95.1672	0.2074	0.1326
71.4400	0.2441	0.0959
85.3233	0.2397	0.1003
74.2720	0.2400	0.1000
64.7210	0.2526	0.0874

ตารางที่ 4.37 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.45 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.75 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
72.8230	0.3829	0.0671
79.8764	0.3693	0.0807
94.7043	0.3586	0.0914
85.5036	0.3674	0.0826
69.3678	0.3830	0.0670

ตารางที่ 4.38 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.645 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.765 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
83.0000	0.5532	0.0918
74.6105	0.5625	0.0825
67.0044	0.5709	0.0741
91.9668	0.5432	0.1018
78.1558	0.5585	0.0865

ตารางที่ 4.39 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.53 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.78 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
76.7976	0.4318	0.0982
61.5560	0.4534	0.0766
84.0000	0.4247	0.1053
69.8586	0.4427	0.0873
89.9910	0.4170	0.1130

ตารางที่ 4.40 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.40 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 0.95 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
65.4459	0.2899	0.1101
81.4453	0.2530	0.1470
91.1807	0.2364	0.1636
66.7464	0.2777	0.1223
72.7915	0.2675	0.1325

ตารางที่ 4.41 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.55 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 1.04 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
92.4120	0.4618	0.0882
69.9832	0.4842	0.0658
68.8810	0.4789	0.0711
78.7982	0.4749	0.0751
87.0020	0.4650	0.0850

ตารางที่ 4.42 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.90 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 1.10 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
75.4897	0.8337	0.0663
67.0044	0.8411	0.0589
88.2424	0.8225	0.0775
96.0003	0.8157	0.0843
70.3420	0.8382	0.0618

ตารางที่ 4.43 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.60 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 1.27 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
69.4616	0.5025	0.0975
81.3600	0.4978	0.1022
84.5000	0.4920	0.1080
72.7900	0.5010	0.0990
91.2018	0.4878	0.1122

ตารางที่ 4.44 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 1.07 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 1.735 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
84.6782	0.9898	0.0802
85.5776	0.9895	0.0805
76.1436	0.9982	0.0718
77.7006	0.9975	0.0725
82.4653	0.9924	0.0776

ตารางที่ 4.45 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 1.47 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 2.135 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
84.6782	1.4013	0.0687
85.5776	1.4000	0.0700
76.1436	1.4061	0.0639
77.7006	1.4075	0.0625
82.4653	1.4025	0.0675

ตารางที่ 4.46 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.55 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 2.33 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
95.6915	0.4152	0.1348
77.3118	0.4418	0.1082
87.6250	0.4298	0.1202
68.5020	0.4576	0.0924
73.0000	0.4613	0.0887

ตารางที่ 4.47 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.50 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 2.90 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
76.1616	0.4246	0.0754
64.9068	0.4367	0.0633
84.7830	0.4187	0.0813
80.1160	0.4219	0.0781
92.5400	0.4112	0.0888

ตารางที่ 4.48 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.535 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 2.935 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
66.7420	0.4347	0.1003
80.7620	0.4130	0.1220
65.8060	0.4397	0.0953
89.6950	0.3990	0.1360
95.6273	0.3859	0.1491

ตารางที่ 4.49 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.50 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 3.40 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
77.8816	0.4033	0.0967
80.5303	0.4103	0.0897
92.9653	0.3949	0.1051
62.5073	0.4327	0.0673
73.1357	0.4195	0.0805

ตารางที่ 4.50 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.55 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 3.55 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
76.4459	0.4741	0.0759
82.3341	0.4683	0.0817
72.4163	0.4768	0.0732
89.0221	0.4621	0.0879
66.7700	0.4857	0.0643

ตารางที่ 4.51 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.70 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 4.20 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
64.0983	0.5869	0.1131
95.1672	0.5384	0.1616
71.4400	0.5746	0.1254
66.7464	0.5823	0.1177
82.4437	0.5572	0.1428

ตารางที่ 4.52 ผลการทดลองของ Leadframe ที่มี Plating รูปร่างสี่เหลี่ยมด้านขนานที่มีขนาดความกว้างก่อนผ่านกระบวนการกัดเท่ากับ 0.55 มิลลิเมตร และมีขนาด Pitch เท่ากับ 4.55 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Plating (mm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)
80.0588	0.4678	0.0822
74.3931	0.4847	0.0653
70.4650	0.4883	0.0617
96.0003	0.4664	0.0836
66.7949	0.4916	0.0584

หมายเหตุ 1. ขนาดของ Plating วัดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลม

2. ขนาดของ Undercutting คือขนาดรวมกันทั้งสองด้านของ Plating ที่หายไป

จากตารางที่ 4.1 - 4.52 แสดงให้เห็นว่าความลึกจากการกัดชิ้นงานมีผลโดยตรงกับขนาดของ Undercutting ที่เกิดขึ้น เมื่อกัดชิ้นงานให้มีความลึกที่มากขึ้น ขนาดของ Undercutting จะกว้างขึ้นตามไปด้วย

4.2 ผลของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อขนาดของ Undercutting

การทดสอบว่าปัจจัยใดที่มีระดับนัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเพิ่มขนาดของ Undercutting ที่เกิดขึ้นโดยการกัดชิ้นงานด้วยน้ำยาเคมี ใช้วิธีทดสอบทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

4.2.1 ปัจจัยด้านรูปร่างของ Plating

รูปร่างของ Plating บนวงจรรวม GQFN สามารถจำแนกได้ 2 ประเภทคือ Plating ที่มีรูปร่างวงกลมและสี่เหลี่ยมด้านขนาน กำหนดให้วงจรรวม GQFN ที่มีรูปร่างของ Plating ที่แตกต่างกัน ส่วนขนาดและระยะห่างระหว่าง Plating มีค่าเท่ากัน

ตารางที่ 4.53 ผลการทดสอบสมมติฐานของรูปร่างที่แตกต่างกันโดยกำหนด ขนาดเท่ากับ 0.30 มิลลิเมตร และมีระยะห่างของช่องว่างระหว่าง Plating เท่ากับ 0.10 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (μm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm) เมื่อ Plating มีรูปร่างแบบวงกลม	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)เมื่อ Plating มีรูปร่างแบบสี่เหลี่ยม
75.00	0.1205	0.0701
77.50	0.1243	0.0725
80.00	0.1281	0.0748
82.50	0.1319	0.0771
85.00	0.1357	0.0795

จากตารางที่ 4.53 ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ผลการทดสอบสมมติฐานคือปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่ารูปร่างที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อขนาดของ Undercutting ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.54 ผลการทดสอบสมมติฐานของรูปร่างที่แตกต่างกันโดยกำหนด ขนาดเท่ากับ 0.29 มิลลิเมตร และมีระยะห่างของช่องว่างระหว่าง Plating เท่ากับ 0.11 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (μm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm) เมื่อ Plating มีรูปร่างแบบวงกลม	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)เมื่อ Plating มีรูปร่างแบบสี่เหลี่ยม
75.00	0.1275	0.0823
77.50	0.1318	0.0850
80.00	0.1360	0.0877
82.50	0.1402	0.0905
85.00	0.1445	0.0932

จากตารางที่ 4.54 ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ผลการทดสอบสมมติฐานคือปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่ารูปร่างที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อขนาดของ Undercutting ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.55 ผลการทดสอบสมมติฐานของรูปร่างที่แตกต่างกันโดยกำหนด ขนาดเท่ากับ 0.27 มิลลิเมตร และมีระยะห่างของช่องว่างระหว่าง Plating เท่ากับ 0.13 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (μm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm) เมื่อ Plating มีรูปร่างแบบวงกลม	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)เมื่อ Plating มีรูปร่างแบบสี่เหลี่ยม
75.00	0.1102	0.0804
77.50	0.1137	0.0828
80.00	0.1173	0.0853
82.50	0.1208	0.0877
85.00	0.1243	0.0902

จากตารางที่ 4.55 ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ผลการทดสอบสมมติฐานคือปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่ารูปร่างที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อขนาดของ Undercutting ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.56 ผลการทดสอบสมมติฐานของรูปร่างที่แตกต่างกันโดยกำหนด ขนาดเท่ากับ 0.30 มิลลิเมตร และมีระยะห่างของช่องว่างระหว่าง Plating เท่ากับ 0.20 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (μm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm) เมื่อ Plating มีรูปร่างแบบวงกลม	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)เมื่อ Plating มีรูปร่างแบบสี่เหลี่ยม
75.00	0.1324	0.0846
77.50	0.1367	0.0874
80.00	0.1410	0.0902
82.50	0.1453	0.0930
85.00	0.1496	0.0958

จากตารางที่ 4.56 ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ผลการทดสอบสมมติฐานคือปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่ารูปร่างที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อขนาดของ Undercutting ที่เกิดขึ้น

4.2.2 ปัจจัยด้านขนาดของ Plating

ขนาดของ Plating บนวงจรรวม GQFN คือความกว้างของ Plating กำหนดให้วงจรรวม GQFN ที่มีขนาดของ Plating ที่แตกต่างกัน ส่วนรูปร่างและระยะห่างระหว่าง Plating มีค่าเท่ากัน

ตารางที่ 4.57 ผลการทดสอบสมมติฐานของขนาดที่แตกต่างกันโดยกำหนด รูปร่างเป็นวงกลมและมีระยะห่างของช่องว่างระหว่าง Plating เท่ากับ 0.13 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (μm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm) เมื่อ Plating มีขนาด เท่ากับ 0.27 mm	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)เมื่อ Plating มีขนาด เท่ากับ 0.37 mm
75.00	0.1102	0.1069
77.50	0.1137	0.1104
80.00	0.1173	0.1139
82.50	0.1208	0.1174
85.00	0.1243	0.1210

จากตารางที่ 4.57 ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ผลการทดสอบสมมติฐานคือยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่าขนาดที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อขนาดของ Undercutting ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.58 ผลการทดสอบสมมติฐานของขนาดที่แตกต่างกันโดยกำหนด รูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมและมีระยะห่างของช่องว่างระหว่าง Plating เท่ากับ 0.21 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัดชิ้นงานเฉลี่ย (μm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm) เมื่อ Plating มีขนาด เท่ากับ 0.30 mm	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm)เมื่อ Plating มีขนาด เท่ากับ 0.44 mm
75.00	0.0696	0.0846
77.50	0.0719	0.0869
80.00	0.0743	0.0892
82.50	0.0766	0.0915
85.00	0.0790	0.0938

จากตารางที่ 4.58 ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ผลการทดสอบสมมติฐานคือปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าขนาดที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อขนาดของ Undercutting ที่เกิดขึ้น

4.2.3 ปัจจัยด้านระหว่างระหว่าง Plating

ระหว่างระหว่าง Plating บนวงจรรวม GQFN คือความกว้างของช่องว่างระหว่าง Plating กำหนดให้วงจรรวม GQFN ที่มีระหว่างระหว่าง Plating ที่แตกต่างกัน ส่วนรูปร่างและขนาด Plating มีค่าเท่ากัน

ตารางที่ 4.59 ผลการทดสอบสมมติฐานของระหว่างระหว่าง Plating ที่แตกต่างกันโดยกำหนด รูปร่าง เป็นวงกลมและขนาด Plating เท่ากับ 0.37 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัด ชั้นงานเคลือบ (μm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm) เมื่อระหว่างระหว่าง Plating มีขนาดเท่ากับ 0.13 mm	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm) เมื่อระหว่างระหว่าง Plating มีขนาดเท่ากับ 0.28 mm
75.00	0.0961	0.1078
77.50	0.0992	0.1114
80.00	0.1023	0.1149
82.50	0.1054	0.1184
85.00	0.1085	0.1219

จากตารางที่ 4.59 ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ผลการทดสอบสมมติฐานคือปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าขนาดที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อขนาดของ Undercutting ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.59 ผลการทดสอบสมมติฐานของระหว่างระหว่าง Plating ที่แตกต่างกันโดยกำหนด รูปร่าง เป็นสี่เหลี่ยมและขนาด Plating เท่ากับ 0.50 มิลลิเมตร

ความลึกจากการกัด ชั้นงานเคลือบ (μm)	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm) เมื่อระหว่างระหว่าง Plating มีขนาดเท่ากับ 0.24 mm	ขนาดเฉลี่ยของ Undercutting (mm) เมื่อระหว่างระหว่าง Plating มีขนาดเท่ากับ 0.29 mm
75.00	0.0679	0.0849
77.50	0.0701	0.0880
80.00	0.0724	0.0911
82.50	0.0747	0.0943
85.00	0.0769	0.0974

จากตารางที่ 4.59 ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ผลการทดสอบสมมติฐานคือปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าขนาดที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อขนาดของ Undercutting ที่เกิดขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการสหกิจศึกษานี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิด Undercutting จากกระบวนการกัดทองแดงโดยใช้น้ำยาเคมีของการประกอบวงจรรวม GQFN จากการดำเนินการพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดของ Undercutting ประกอบด้วยความลึกในการกัดชิ้นงาน รูปร่าง ขนาดและความกว้างของช่องว่างระหว่าง Plating โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดคือ ความลึกในการกัดชิ้นงาน เนื่องจากลักษณะการกัดเป็นแบบ Isotropic ที่ส่งผลให้เมื่อกัดชิ้นงานลึกลงไป ทองแดงบริเวณด้านข้างที่สัมผัสกับน้ำยาจะถูกกัดออกไปด้วย นอกจากนี้ปัจจัยที่ส่งผลให้ขนาดของ Undercutting มีขนาดเพิ่มขึ้นคือ รูปร่างของ Plating โดยเฉพาะ Plating ที่มีรูปร่างเป็นวงกลม เนื่องจากที่เงื่อนไขเดียวกันวงกลมจะมีพื้นที่สัมผัสกับน้ำยาเคมีมากกว่า Plating แบบสี่เหลี่ยม ขนาดของ Plating ที่เล็กลงจะทำให้เกิด Undercutting มากขึ้น และช่องว่างระหว่าง Plating ที่มากขึ้นจะทำให้เกิดพื้นที่สัมผัสกับน้ำยาเคมีมากขึ้นด้วย การที่ Plating ถูกเปลี่ยนให้เป็น Undercutting จะส่งผลให้ลวดลายวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกรอกแบบไว้ข้างต้นเปลี่ยนไป เกิดเป็นลวดลายที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงต้องมีการชดเชยขนาดของ Plating อย่างเหมาะสม โดยโครงการสหกิจนี้ยังได้สร้างแนวทางในการชดเชยขนาดของ Plating ที่เหมาะสมในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกในการกัดชิ้นงานและขนาดของ Plating ที่ระดับความลึกนั้นทั้งสิ้น 52 แนวทาง ซึ่งสามารถตอบสนองต่อการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับ บริษัท ยูแทคไทย จำกัด ในการดำเนินการกัดชิ้นงานสร้างลวดลายวงจรที่ผิดพลาดเนื่องจากการกำหนดขนาด Plating ที่ต้องชดเชยไม่เหมาะสมอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผู้จัดทำโครงการมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

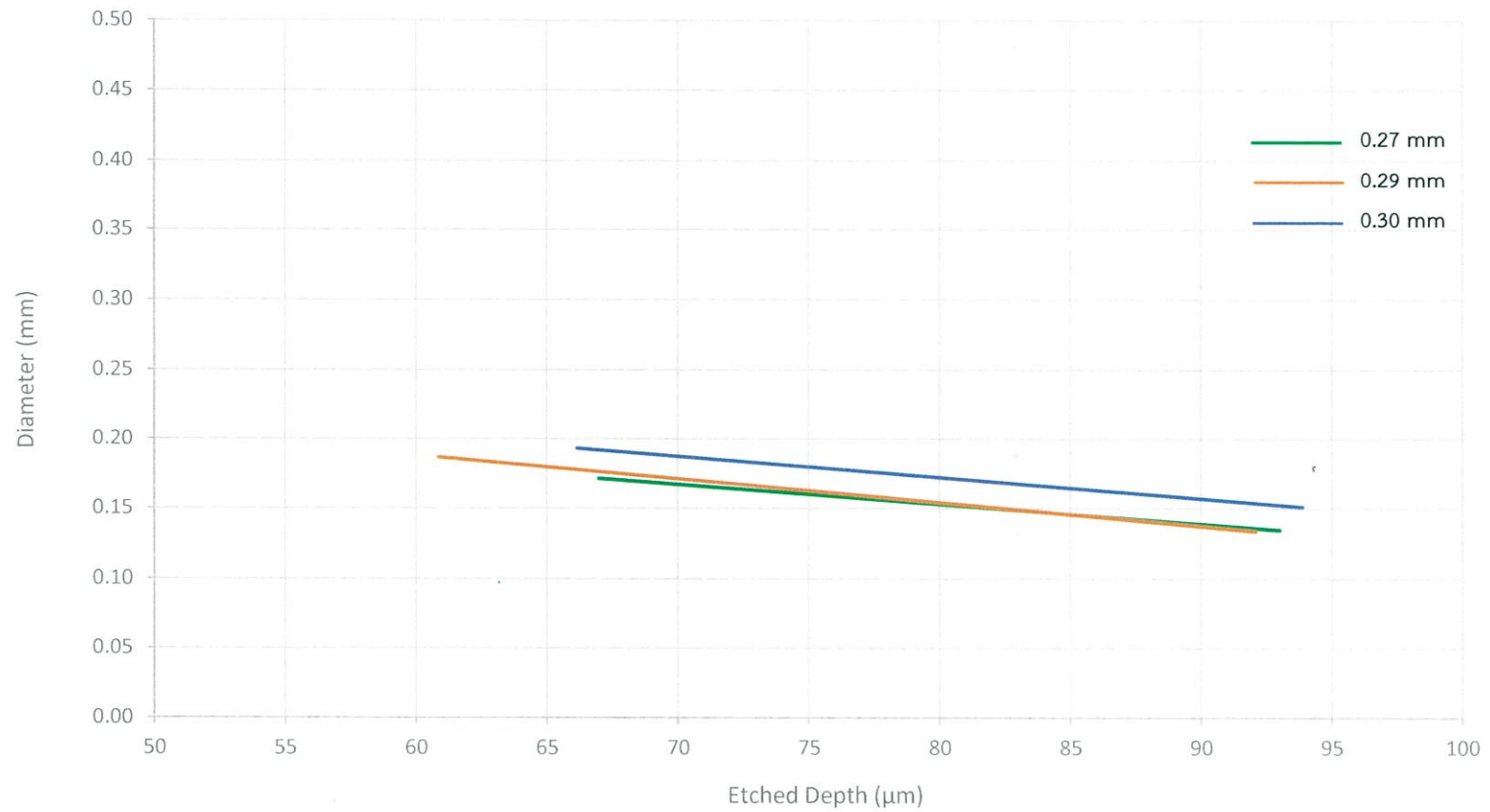
1. อุปกรณ์ในการวัดที่ใช้ในโครงการ (กล้อง High Resolution 3D Surface Profile และโปรแกรม Olympus Lext) มีความยุ่งยากในการใช้งานสูง ค่อนข้างใช้เวลาในการวัดนาน ค่าความผิดพลาดในการวัดขนาด Plating สูงเนื่องจากอุปกรณ์การวัดเป็นแบบ Manual ควรใช้เครื่องมือชนิดอื่นในการวัดขนาดของ Plating

2. ขอบเขตการศึกษาโครงการนี้ถูกจำกัดไว้ที่ปัจจัยเพียง 4 ชนิด คือ ความลึกจากการกัดผิวทองแดง ขนาดของ Plating ก่อนกระบวนการกัดผิวทองแดง ระยะห่างของช่องว่างระหว่าง Plating ก่อนกระบวนการกัดผิวทองแดง และรูปร่างของ Plating แบบต่างๆ แต่ยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลกระทบต่อขนาดของ Undercutting ที่เกิดขึ้นของวงจรรวม GQFN หลังผ่านกระบวนการกัดขึ้นงาน เช่น องค์ประกอบของน้ำยาเคมีในกระบวนการกัด อุณหภูมิ ความเร็วของสายพานที่ลำเลียงชิ้นงานในหน่วยก่อสร้างลดตายวงจร แรงดันของหัวฉีดน้ำยาเคมี เป็นต้น ดังนั้นควรศึกษาปัจจัยเหล่านี้เพิ่มเติมเพื่อความครอบคลุมการใช้งานจริงให้มากยิ่งขึ้น

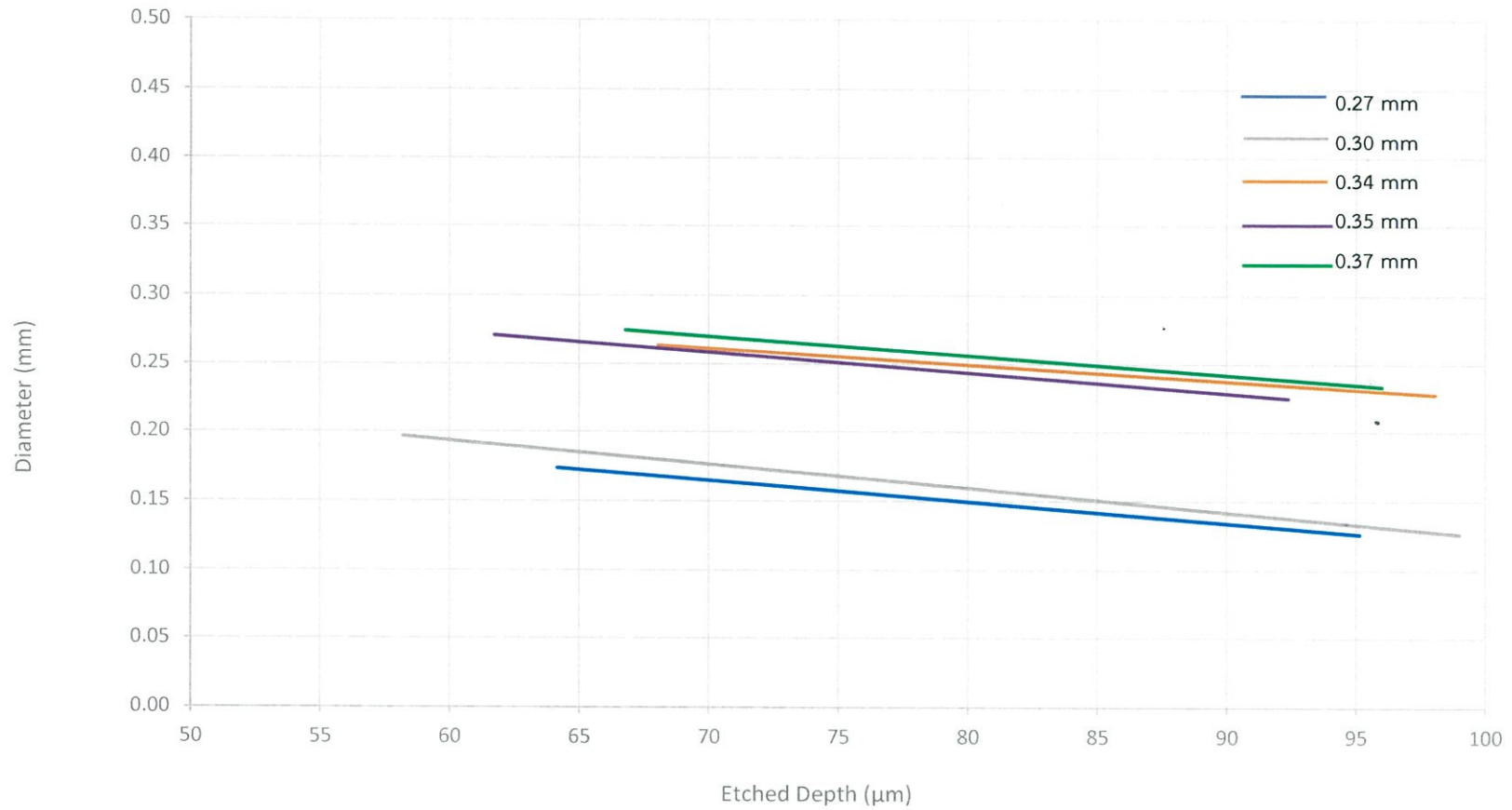
เอกสารอ้างอิง

- [1] Utac group. GQFN Package Data Sheet. Edition: Q12015, rev A. Retrieved from https://www.utacgroup.com/images/White-Paper/GQFN_Package_Data_Sheet_March_2015.pdf
- [2] Central Engineering Department (2015). Introduction to Utl's New Development Package
- [3] Avinash P. Nayak, Logeeswaran VJ and M. Saif Islam. Wet and Dry Etching; University of California, Davis. California.
- [4] Process Engineering Department (2017). GQFN Assembly. Bangkok.

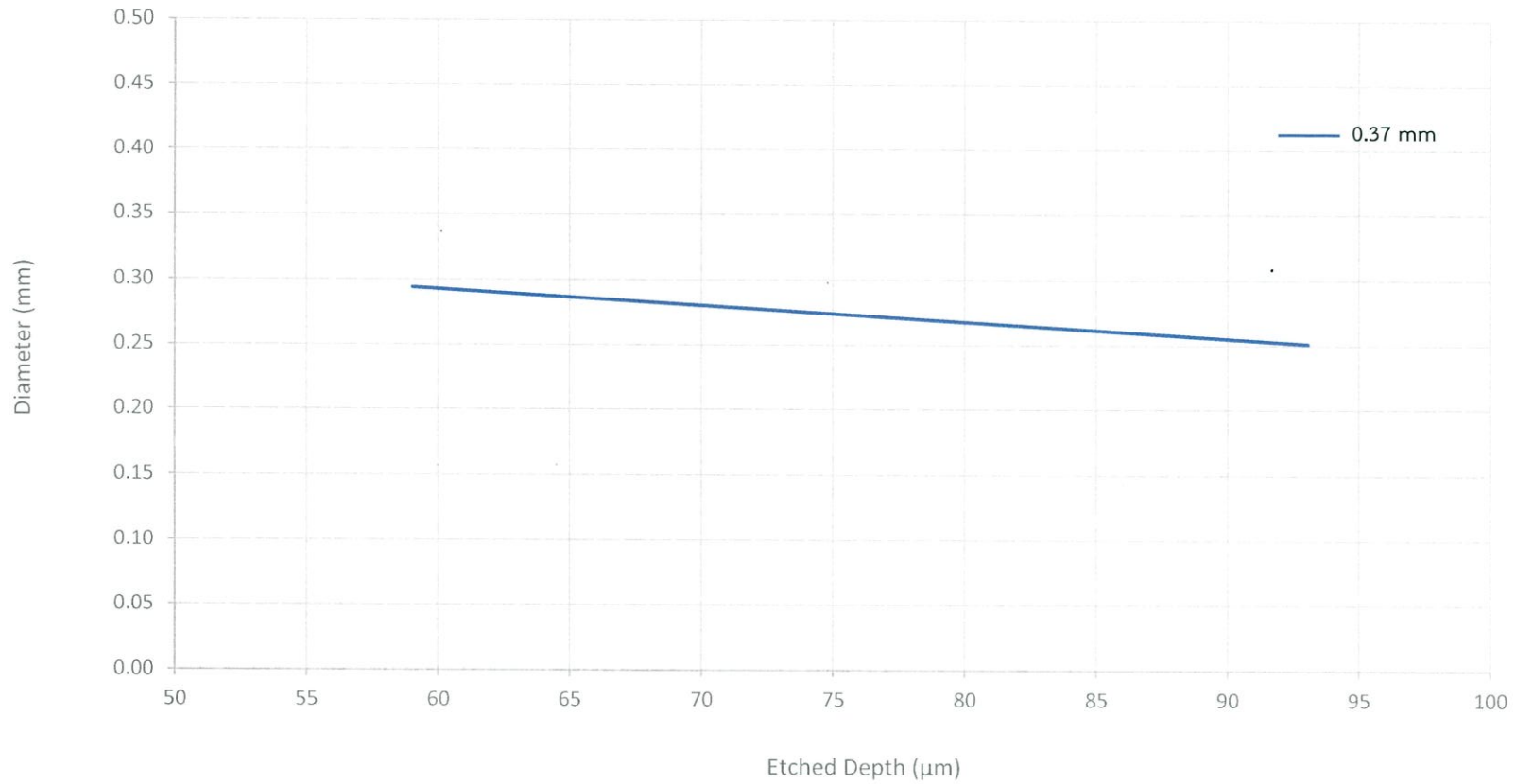
ภาคผนวก



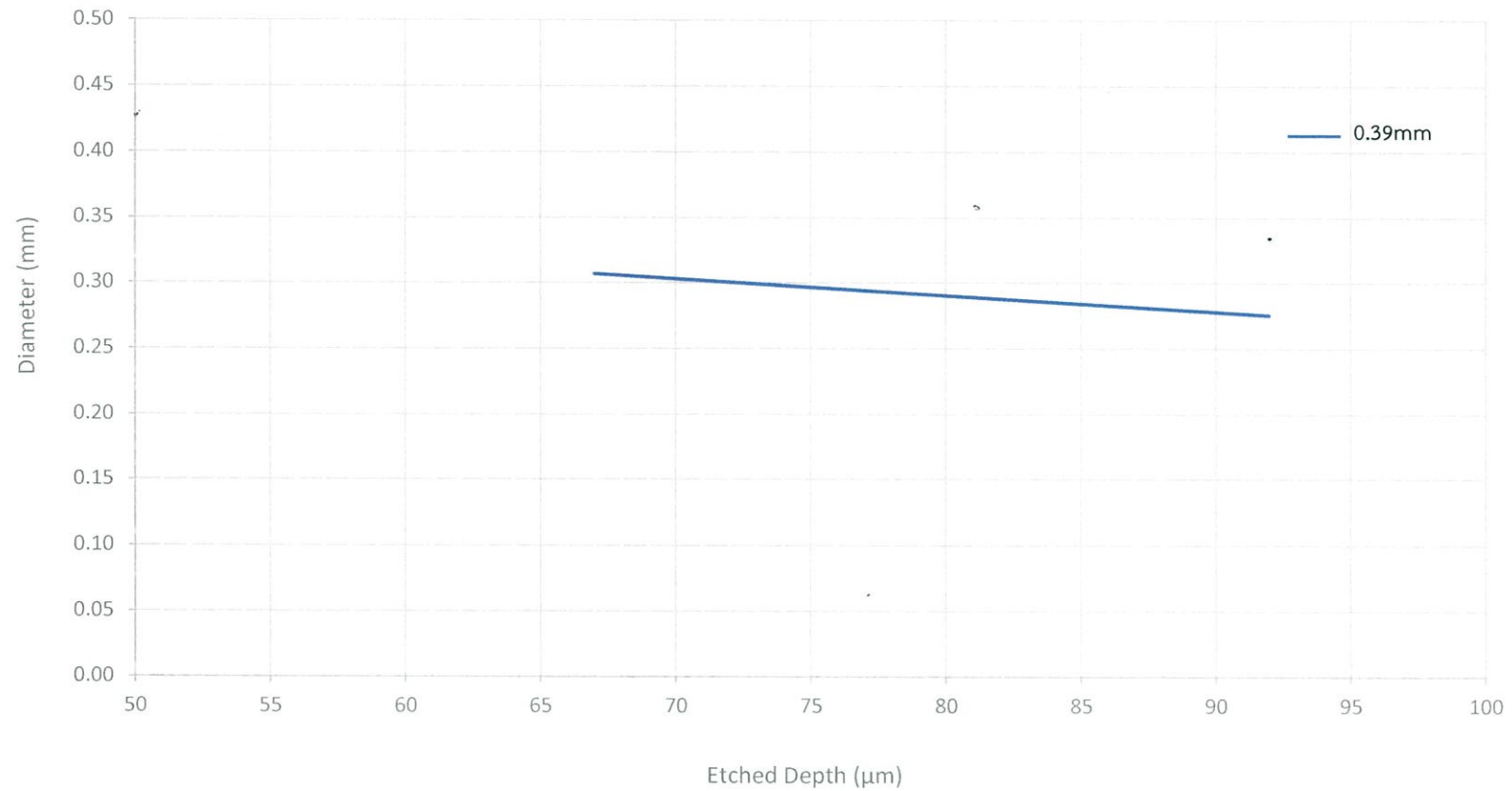
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ วงกลม และมีขนาด pitch เท่ากับ 0.40 มิลลิเมตร



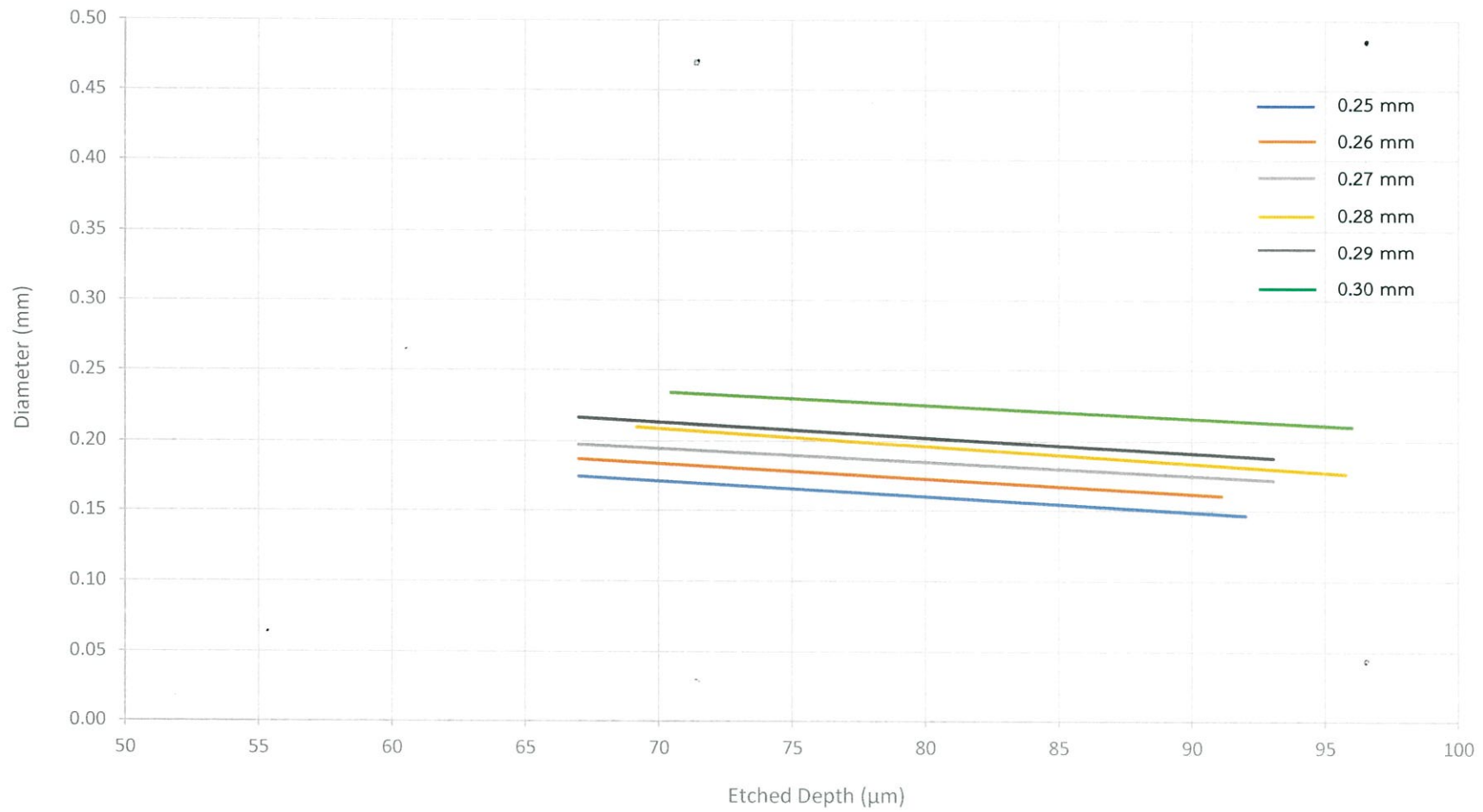
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ วงกลม และมีขนาด pitch เท่ากับ 0.50 มิลลิเมตร



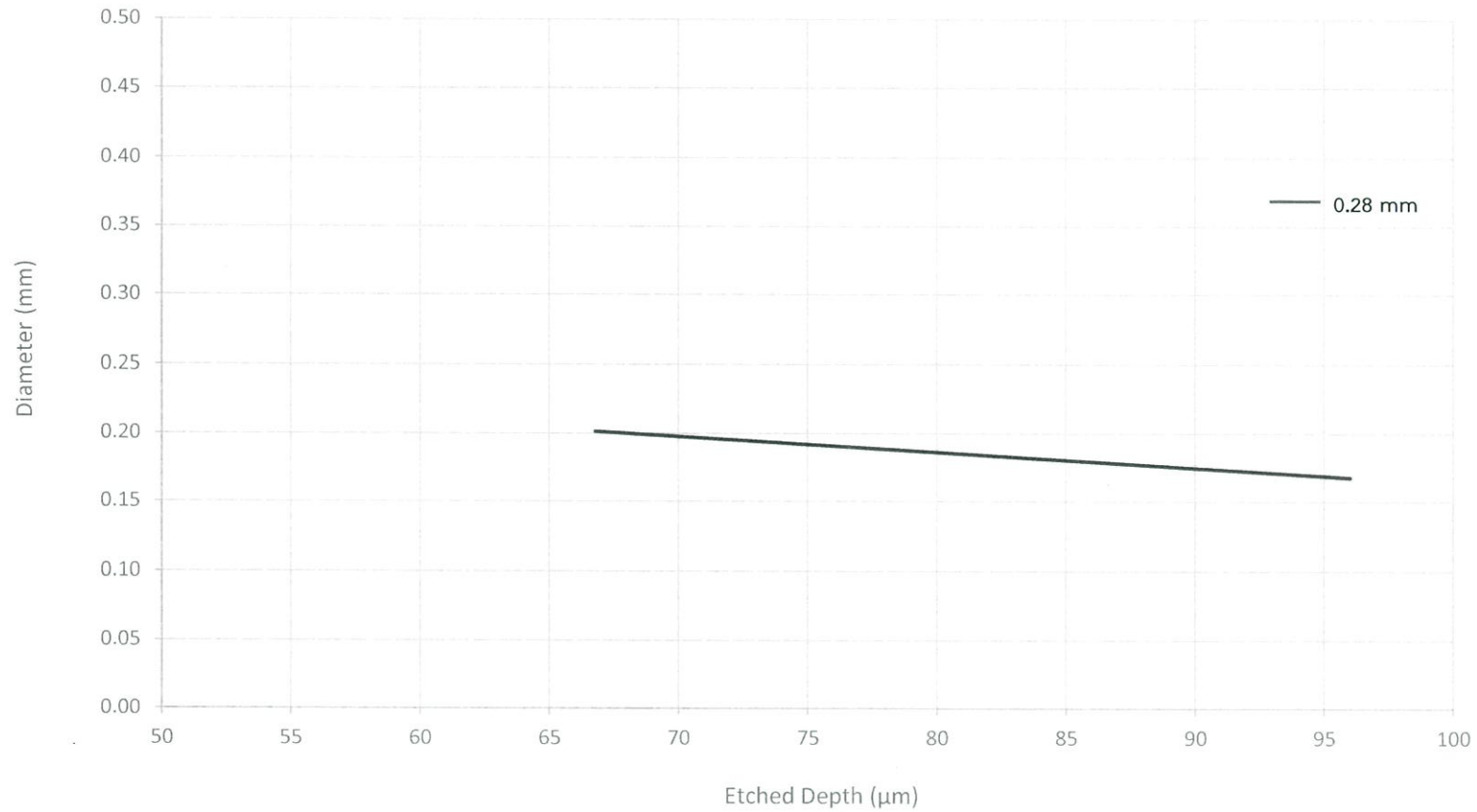
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ วงกลม และมีขนาด pitch เท่ากับ 0.65 มิลลิเมตร



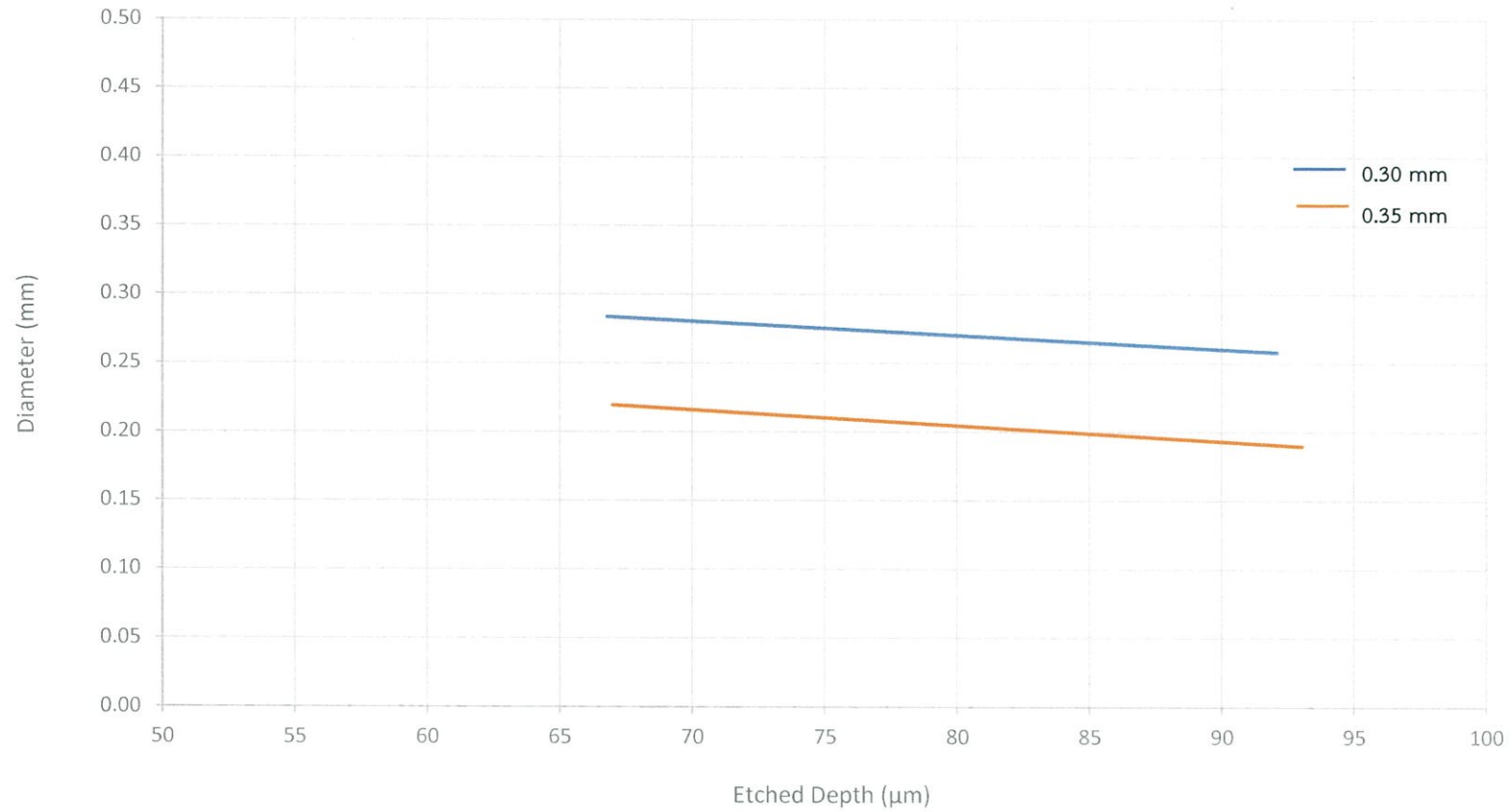
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ วงกลม และมีขนาด pitch เท่ากับ 0.80 มิลลิเมตร



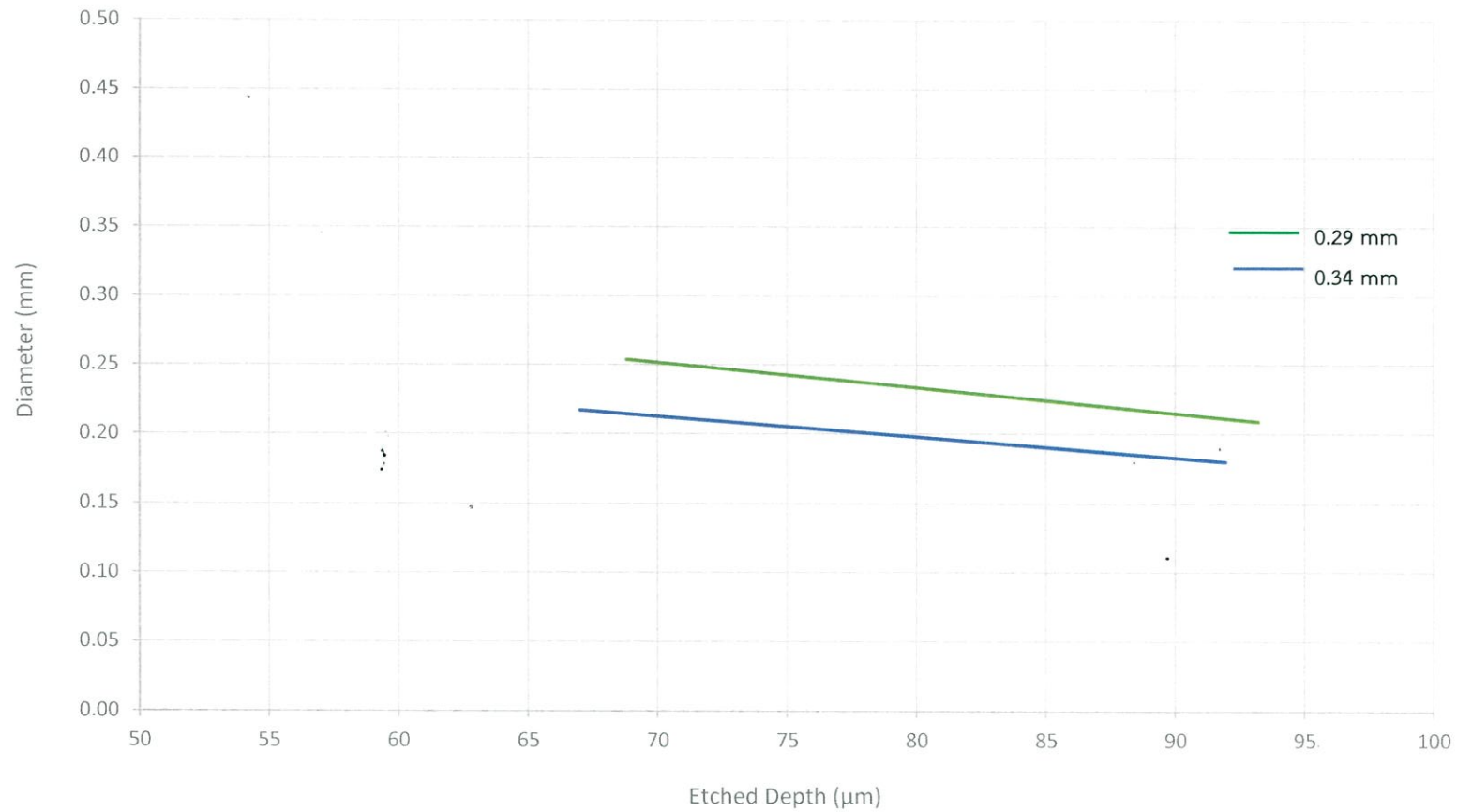
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 0.40 มิลลิเมตร



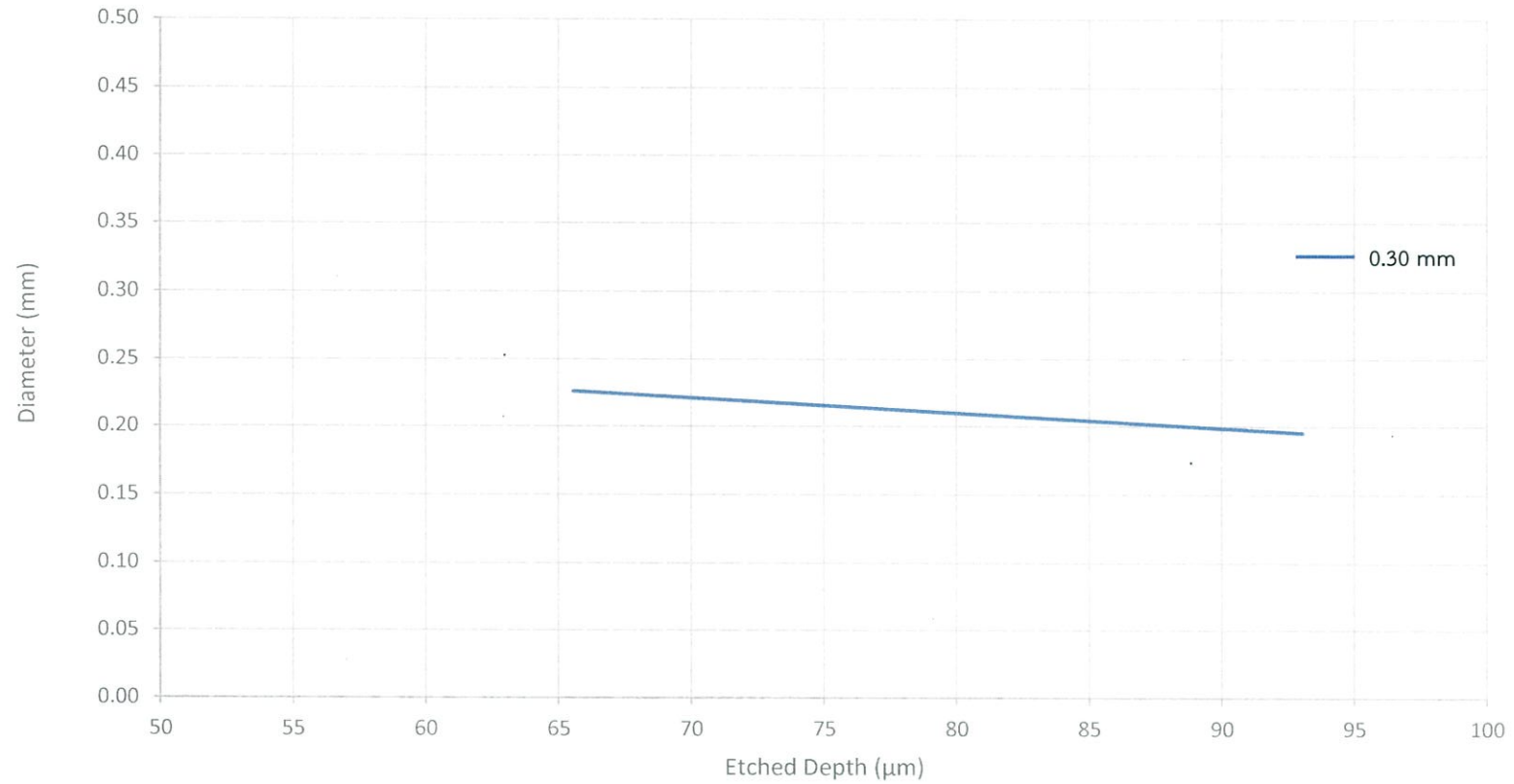
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 0.41 มิลลิเมตร



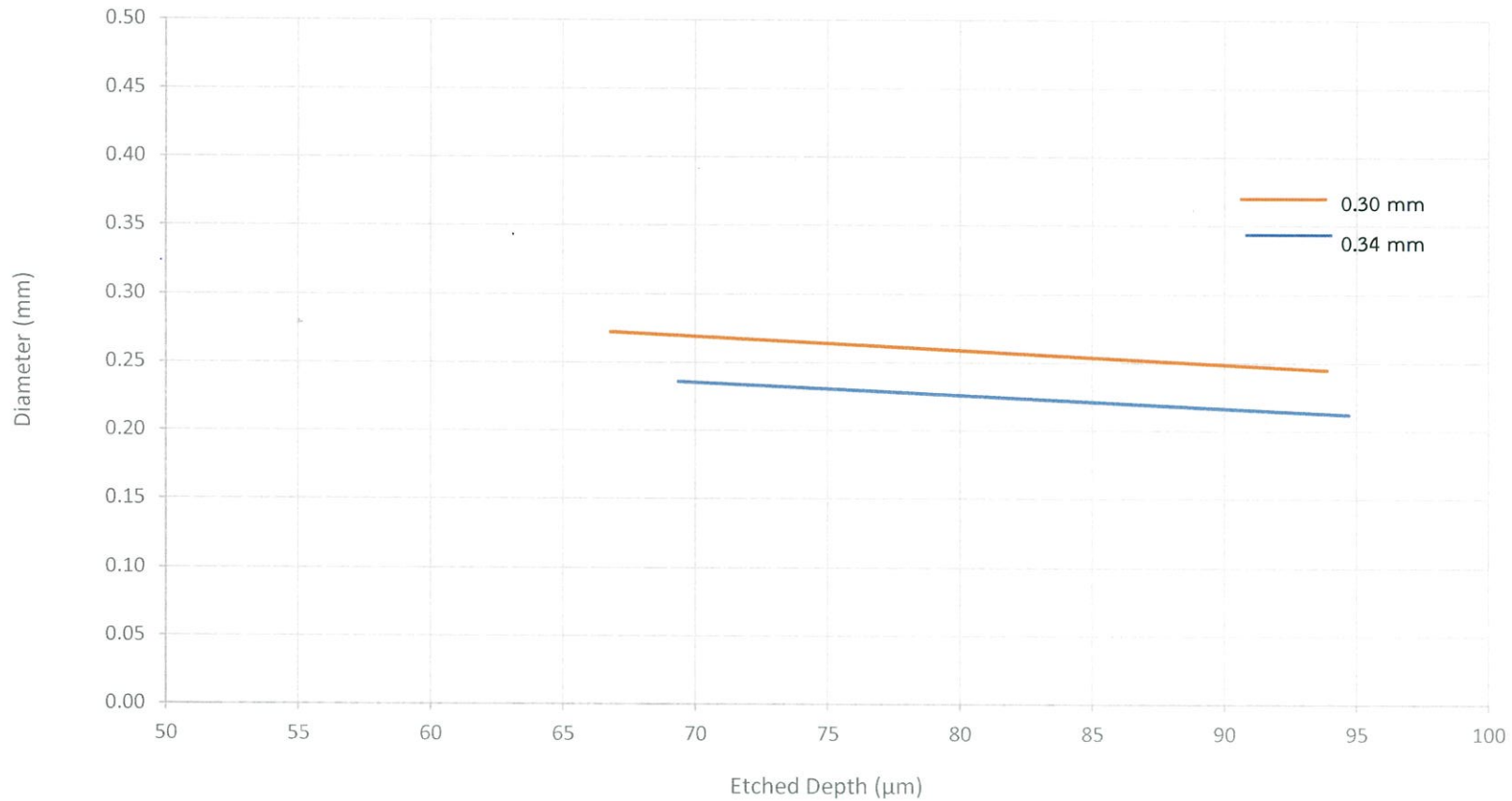
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 0.45 มิลลิเมตร



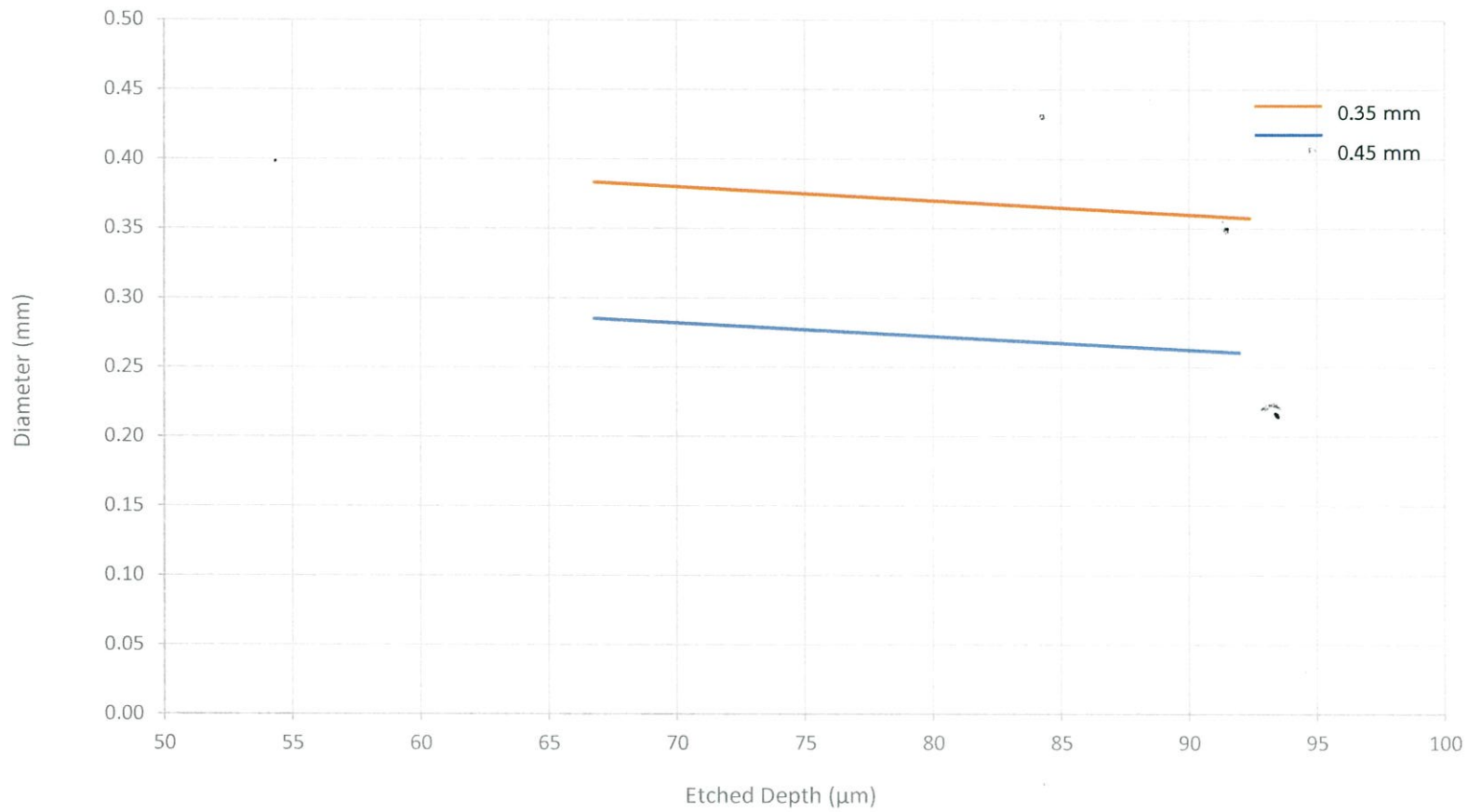
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 0.46 มิลลิเมตร



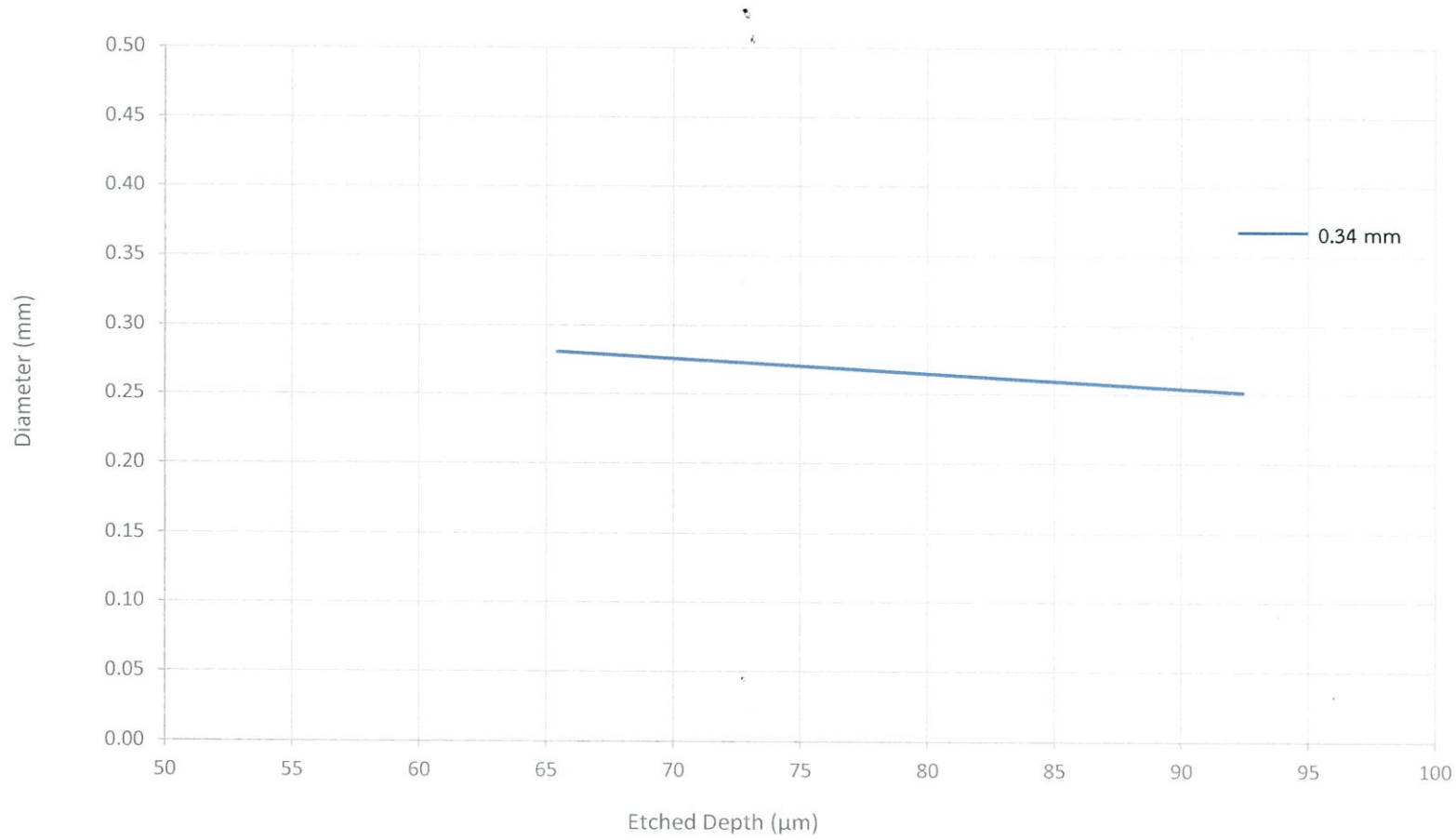
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 0.50 มิลลิเมตร



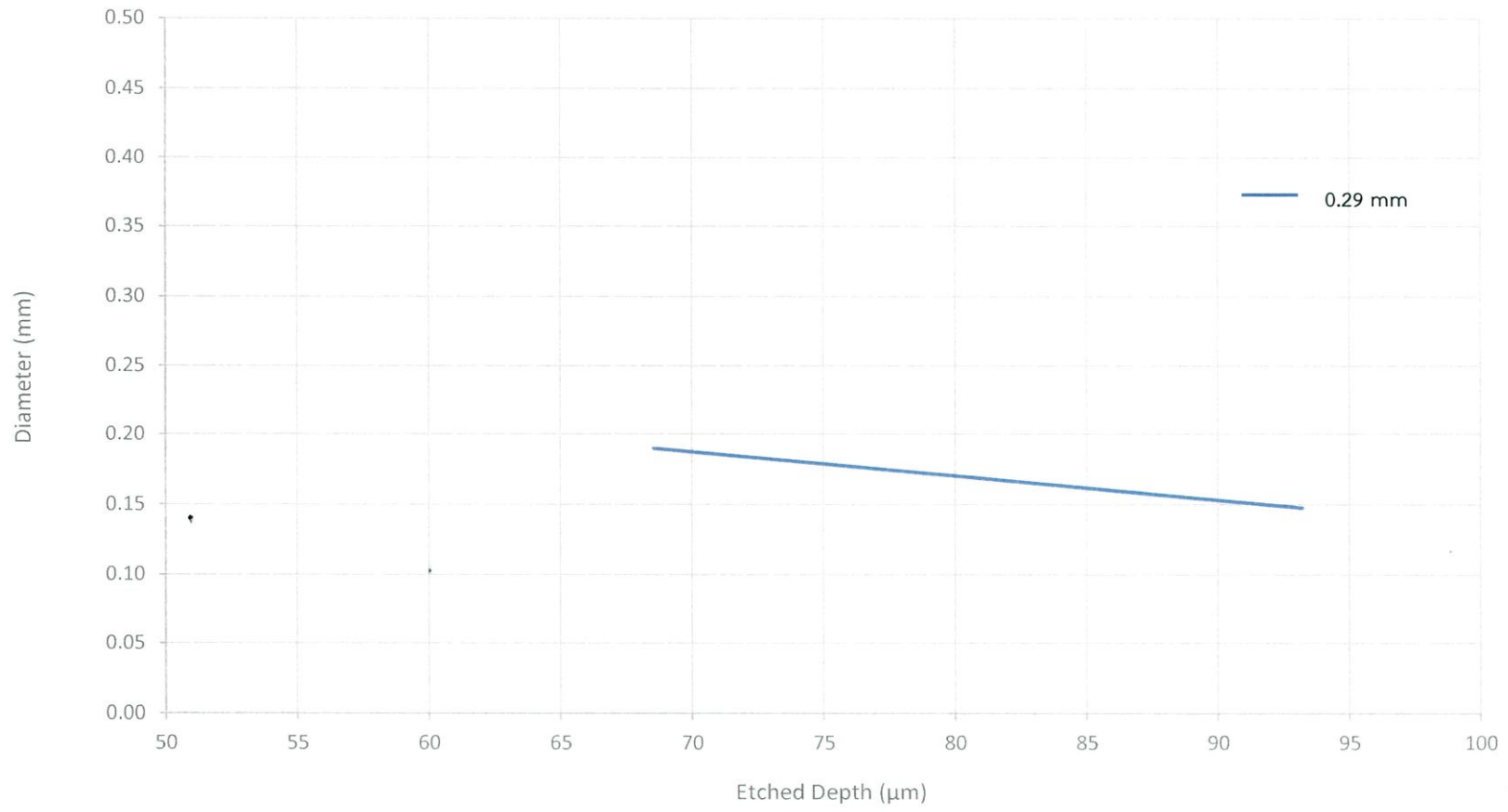
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 0.51 มิลลิเมตร



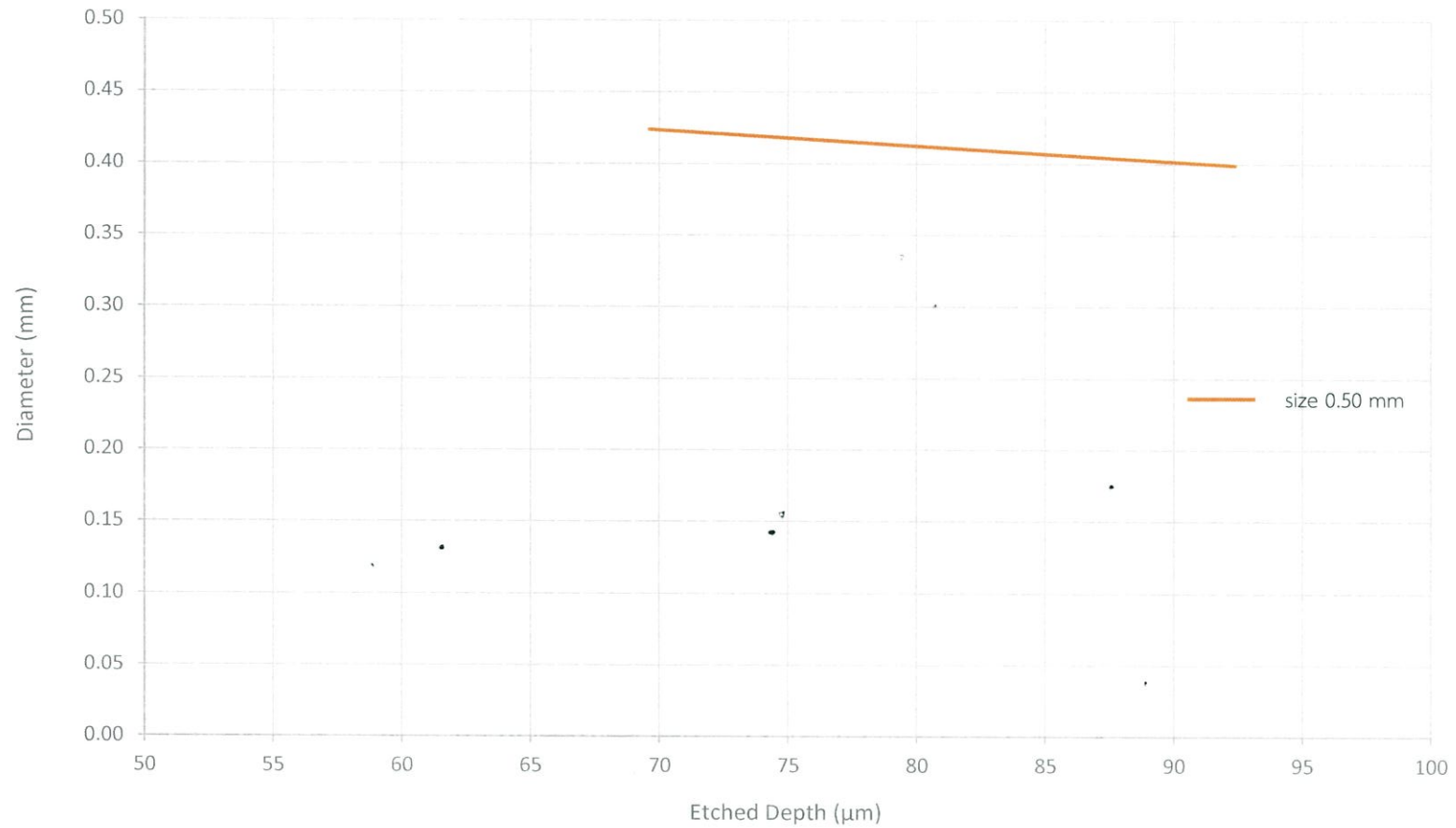
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 0.55 มิลลิเมตร



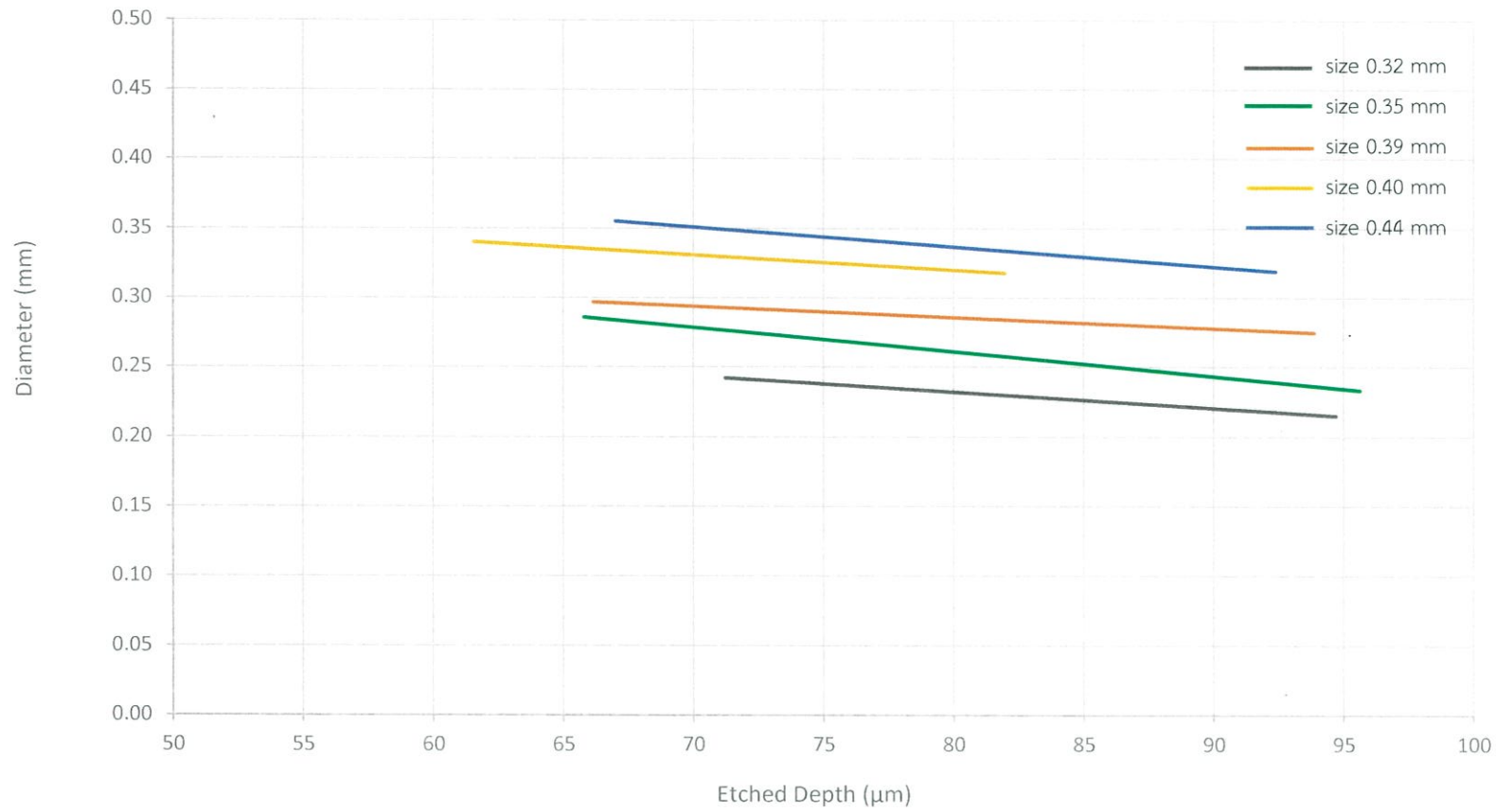
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 0.56 มิลลิเมตร



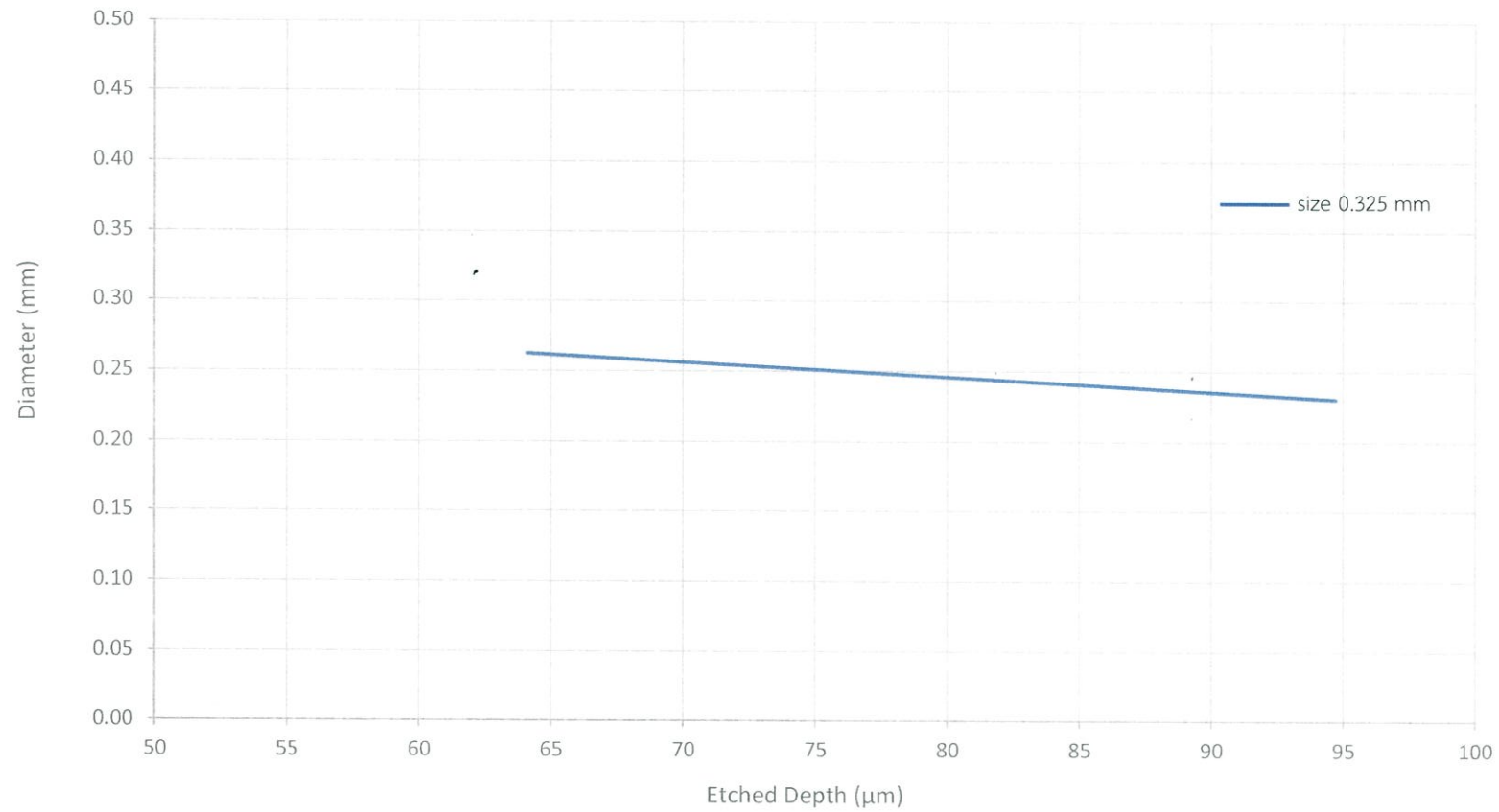
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 0.58 มิลลิเมตร



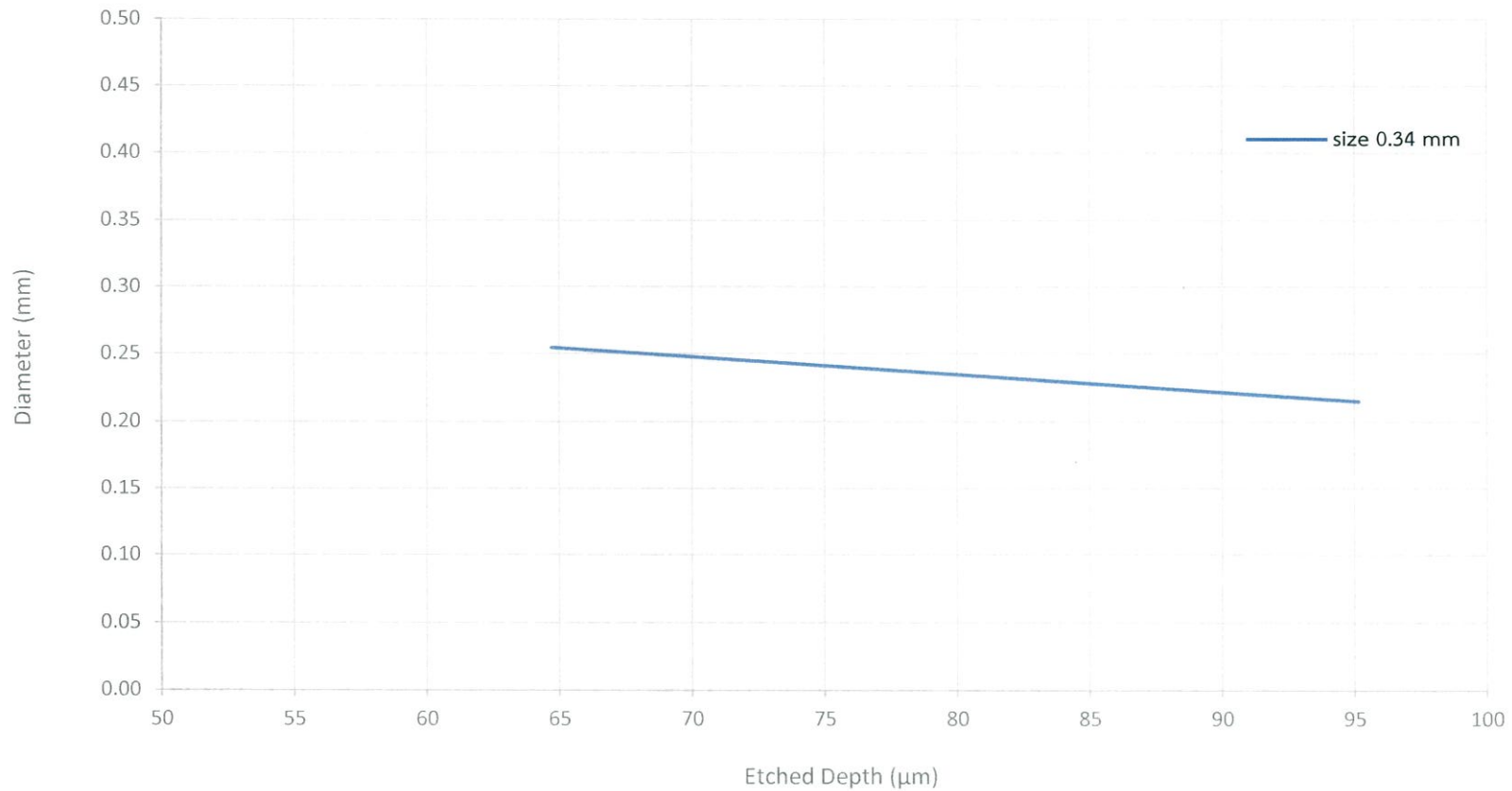
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 0.60 มิลลิเมตร



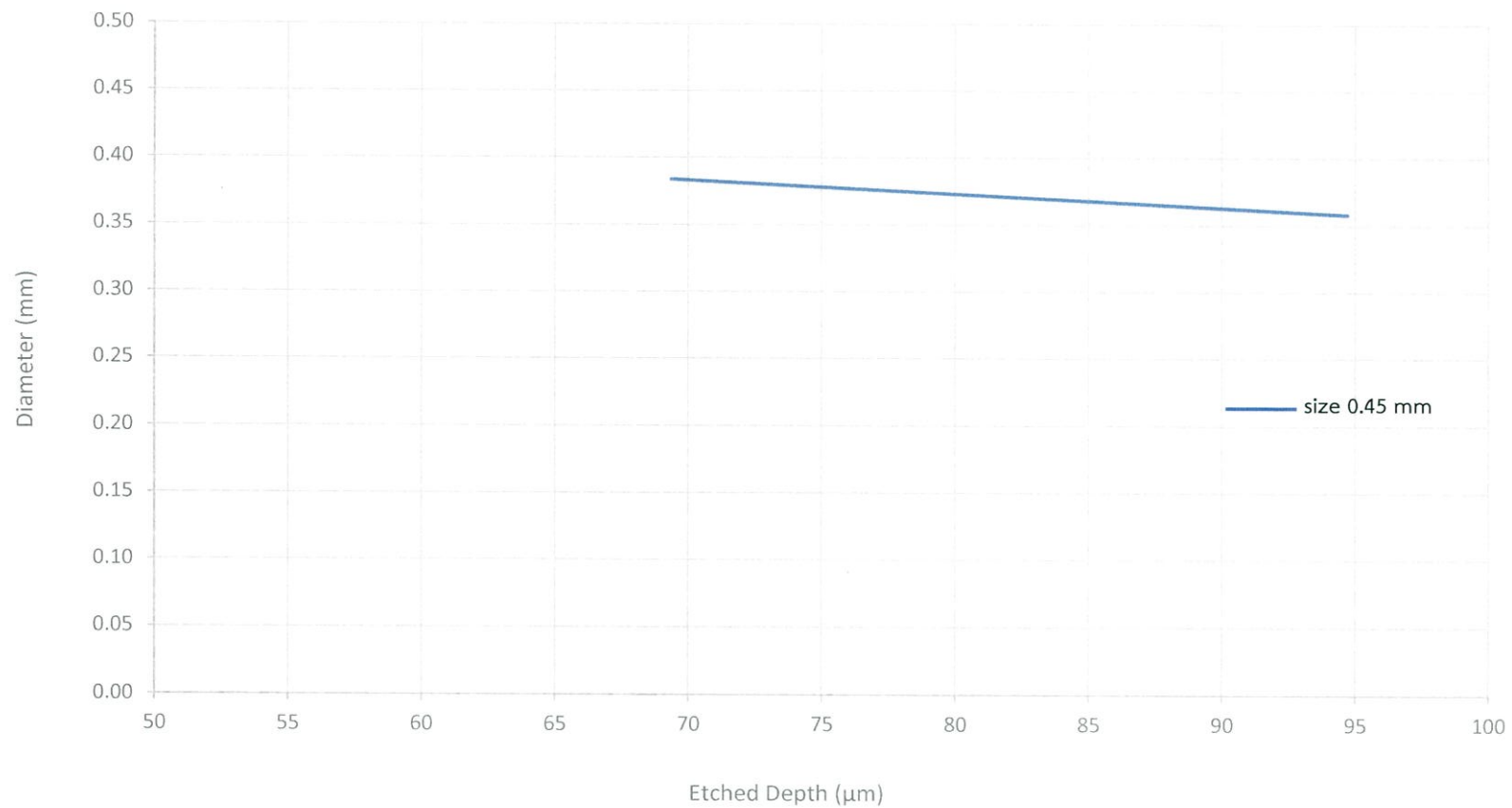
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 0.65 มิลลิเมตร



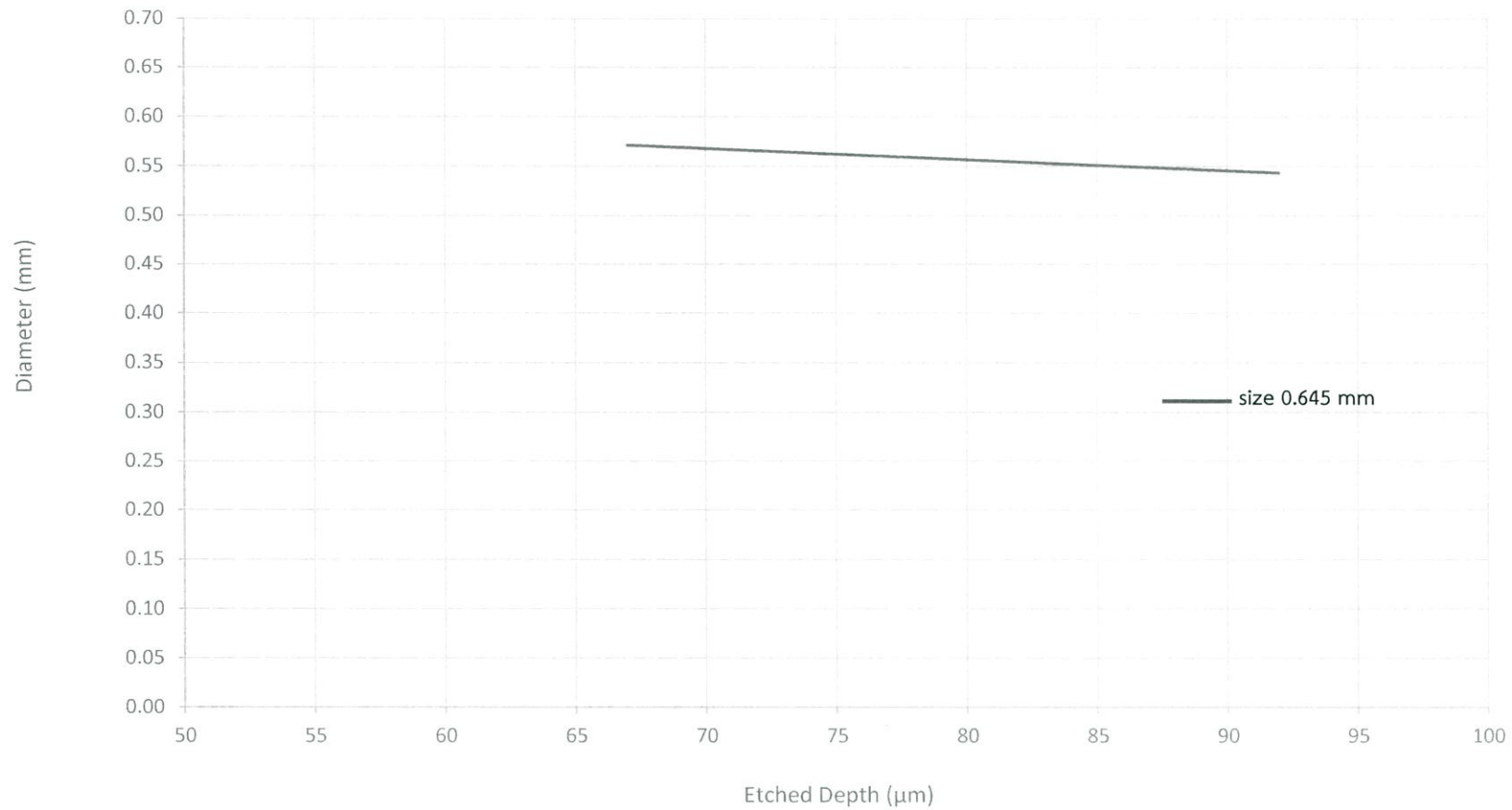
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 0.655 มิลลิเมตร



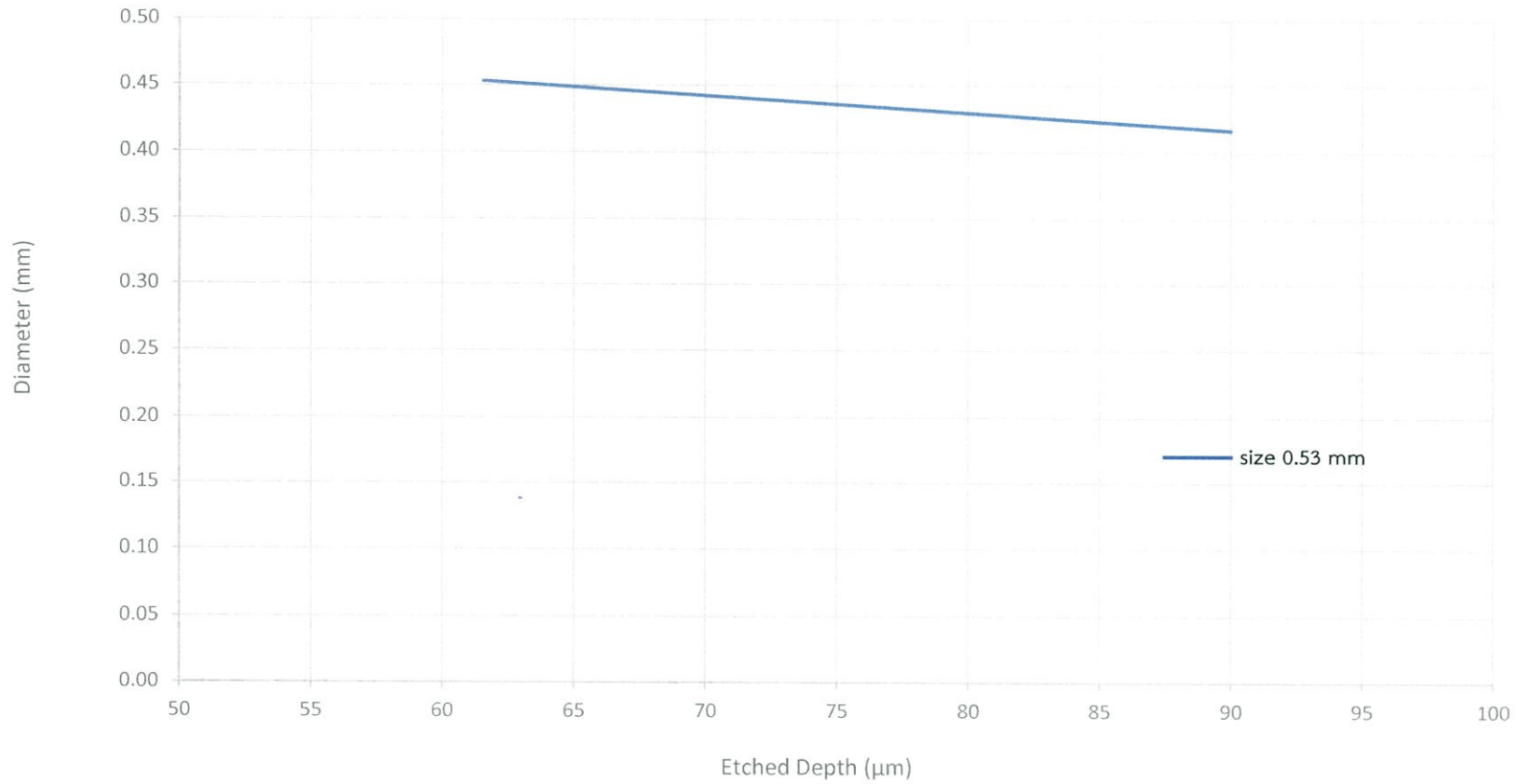
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 0.70 มิลลิเมตร



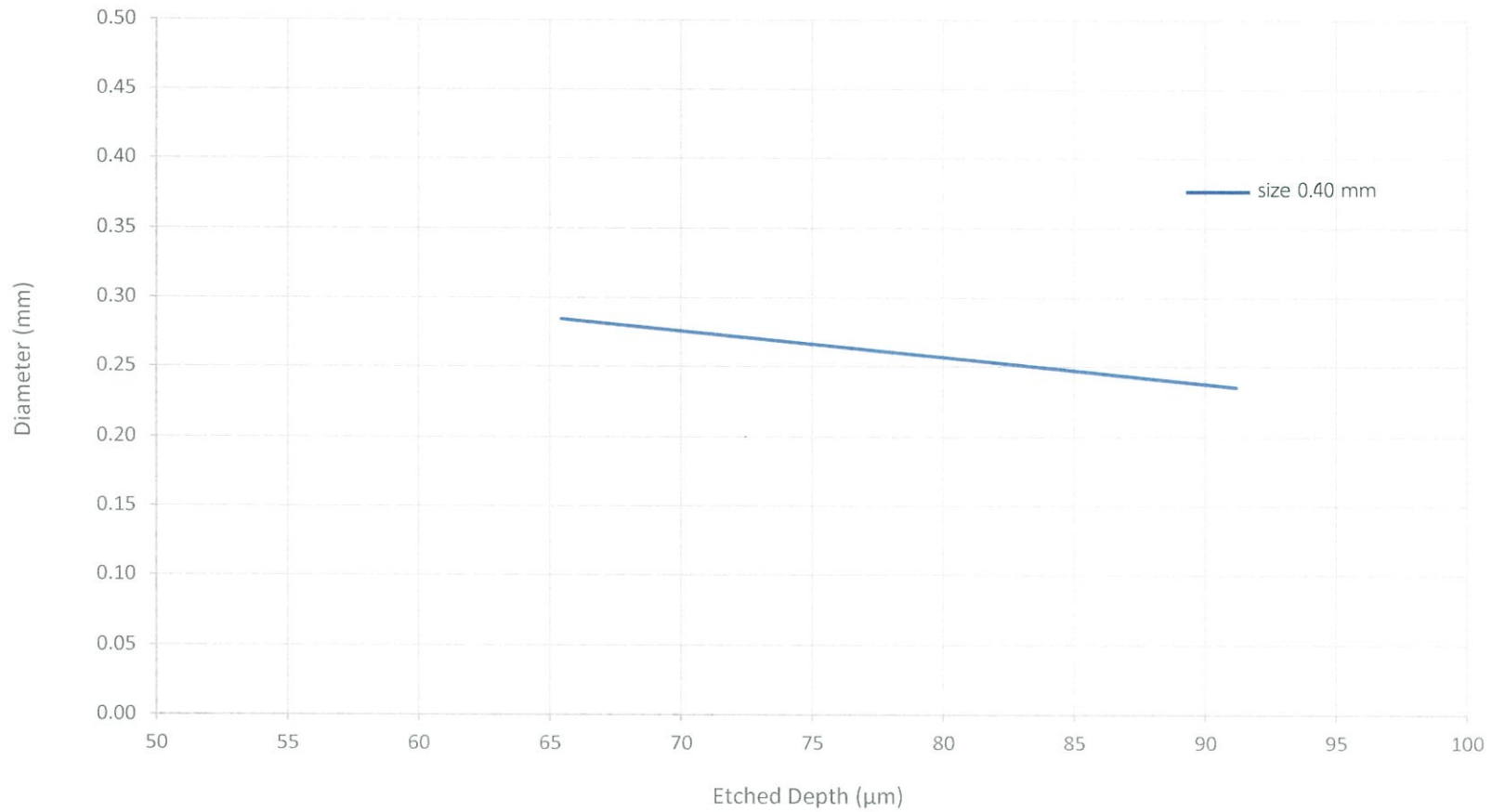
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 0.75 มิลลิเมตร



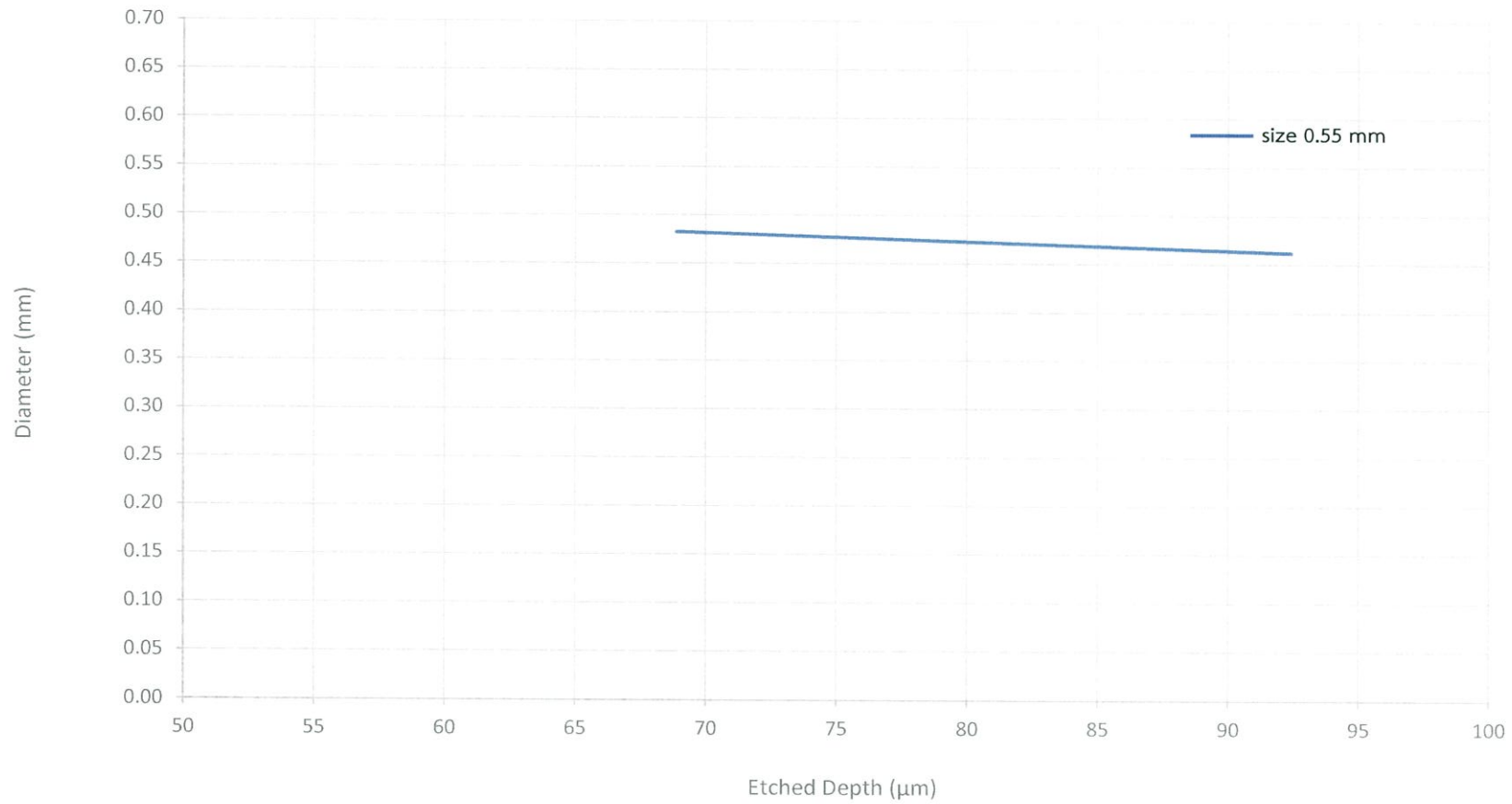
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 0.765 มิลลิเมตร



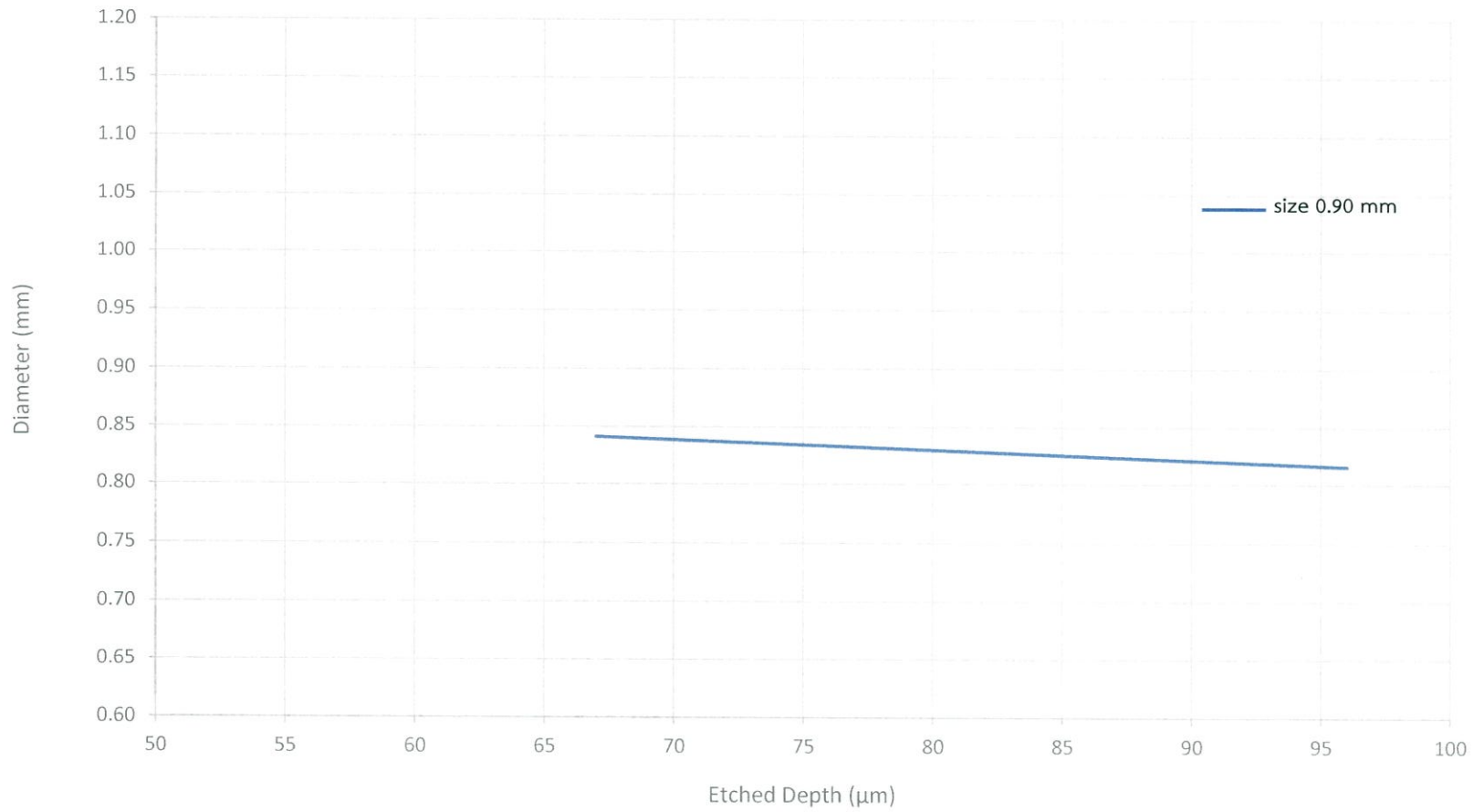
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 0.78 มิลลิเมตร



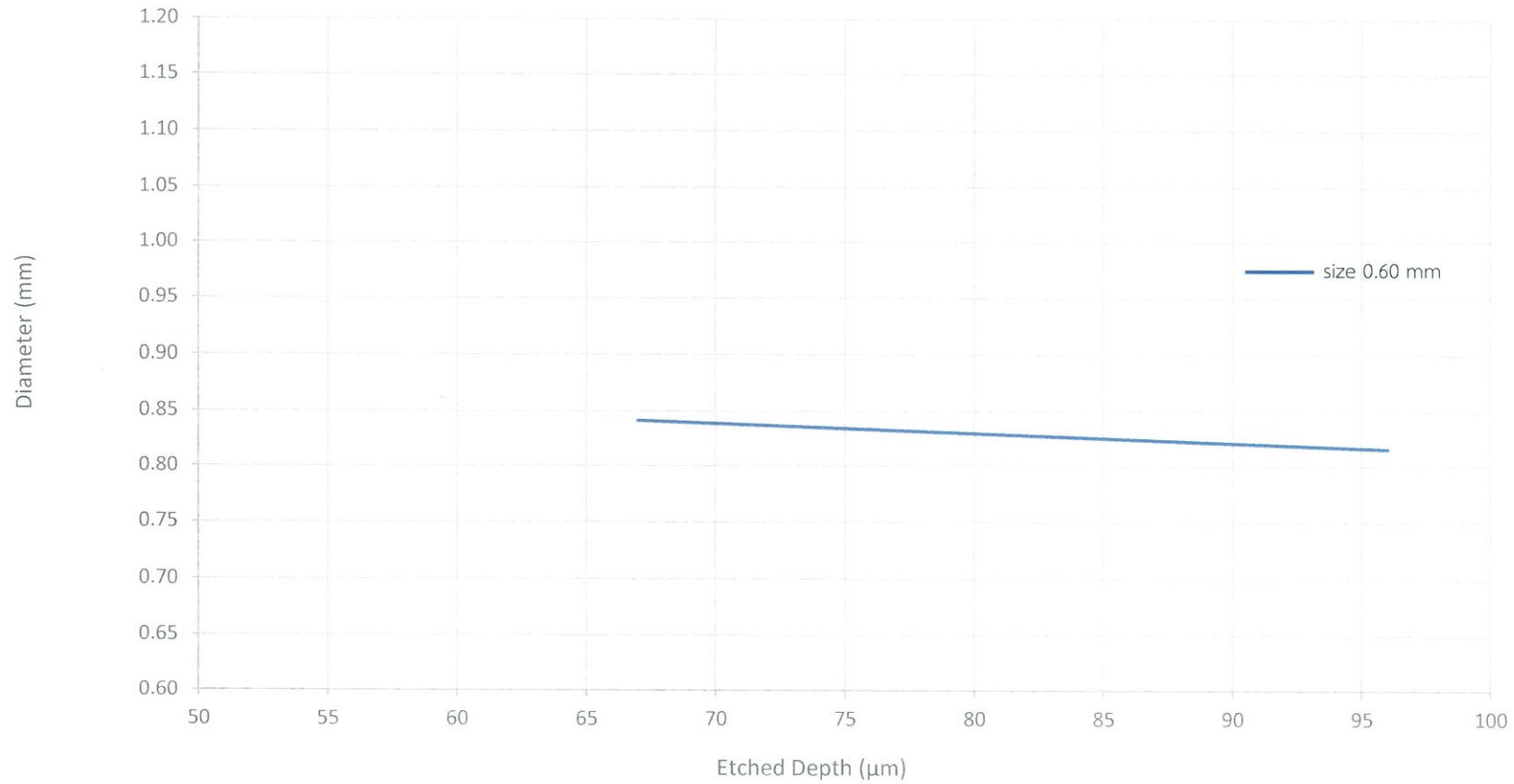
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 0.95 มิลลิเมตร



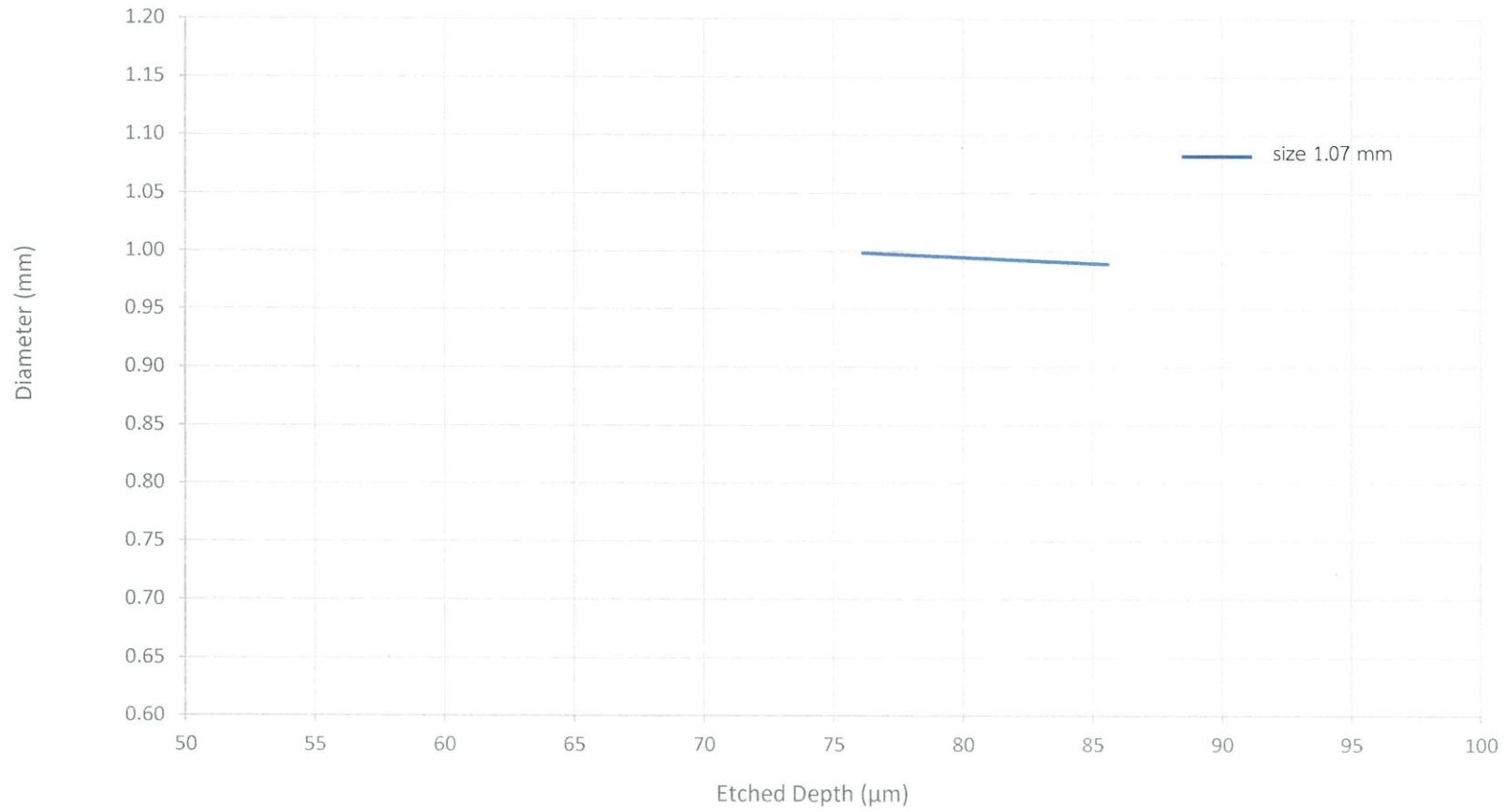
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 1.04 มิลลิเมตร



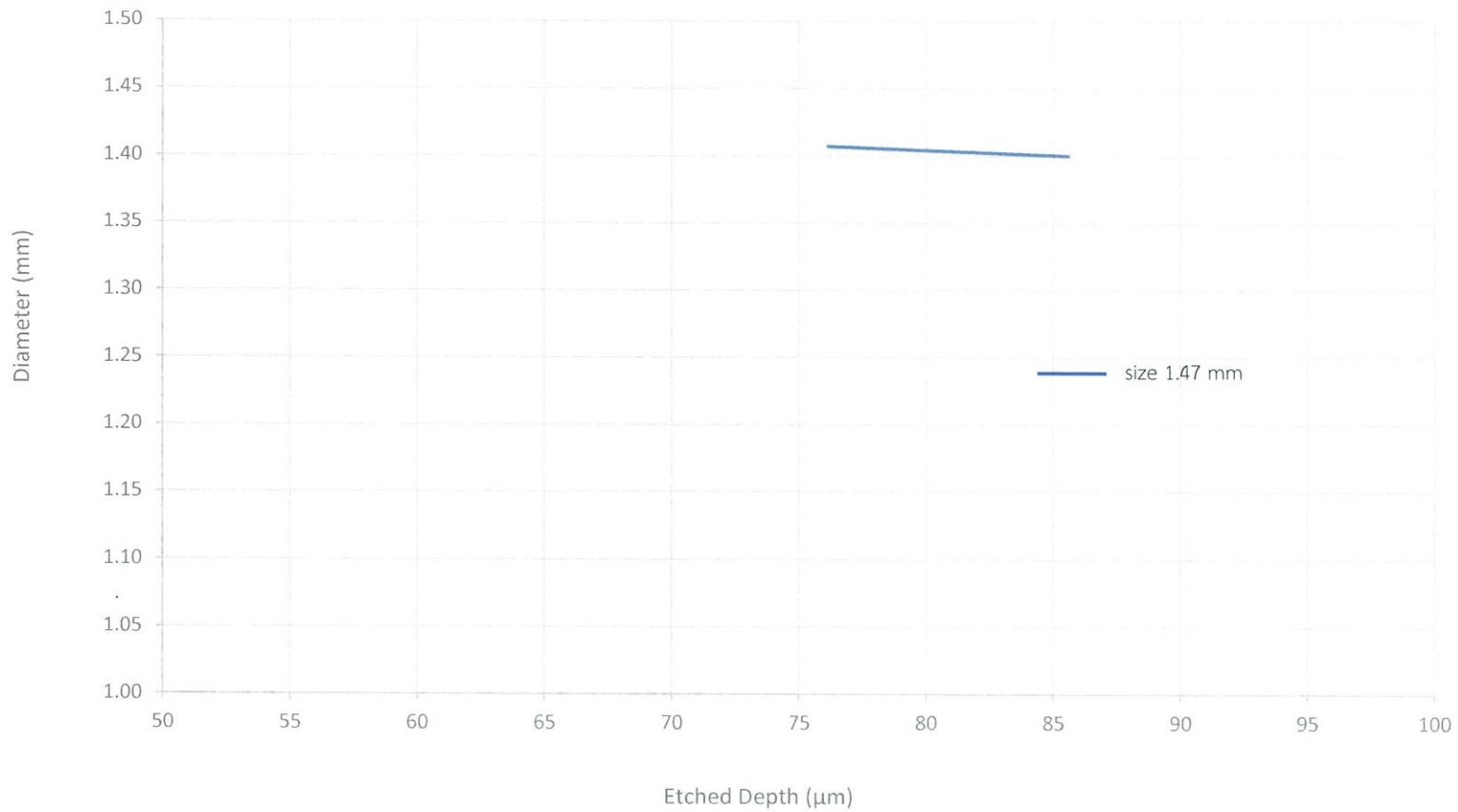
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 1.10 มิลลิเมตร



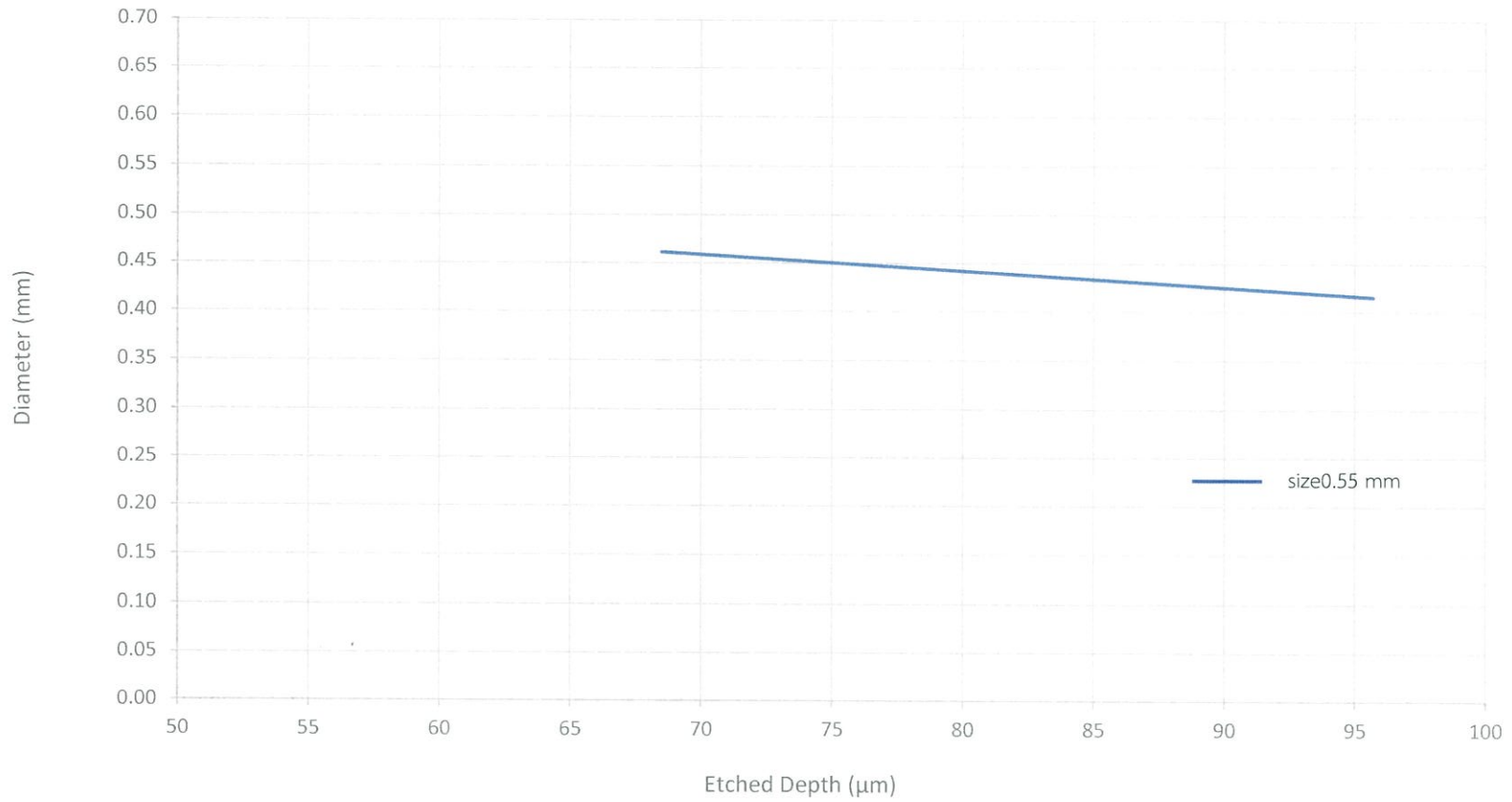
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 1.27 มิลลิเมตร



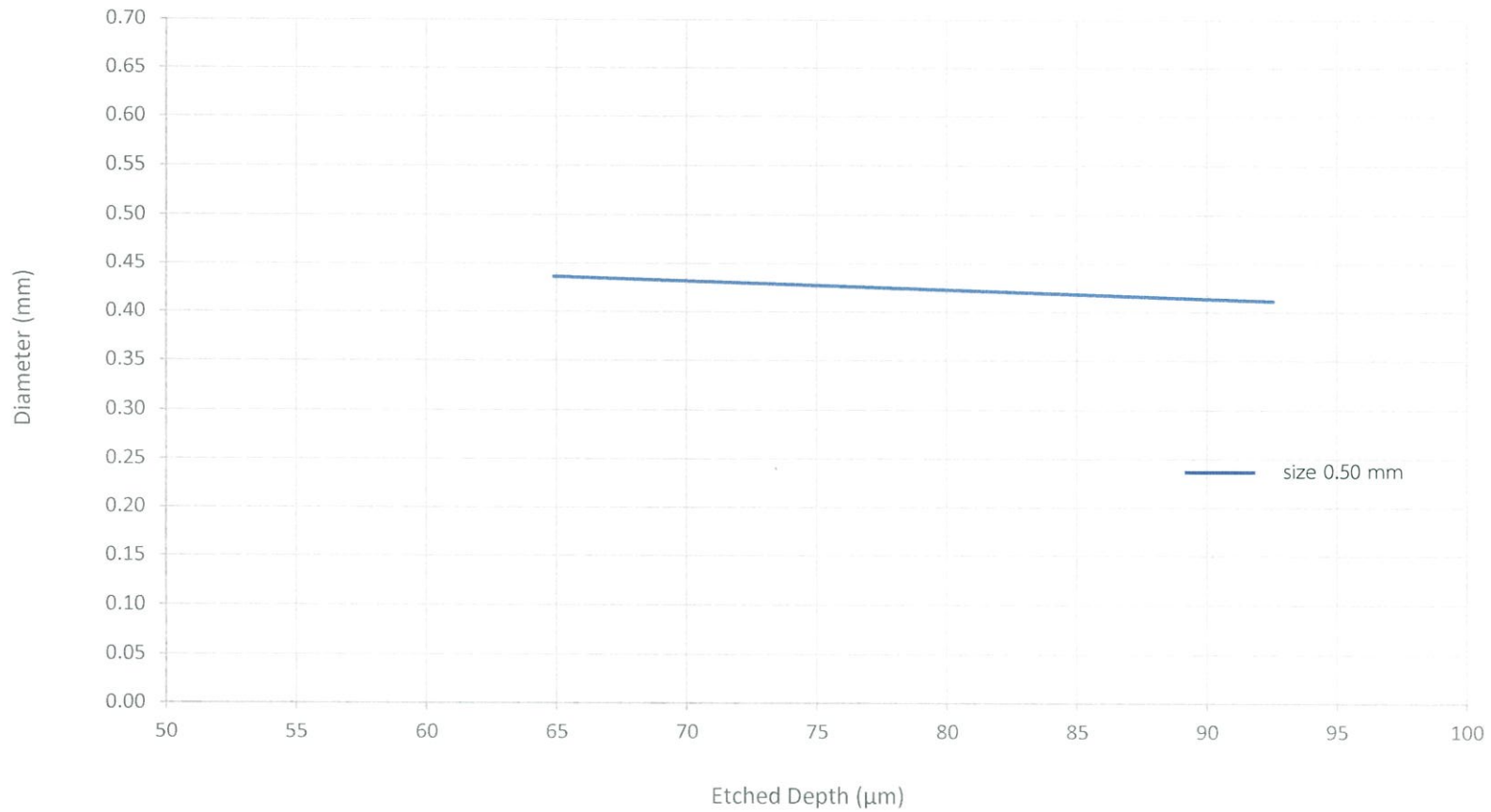
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 1.735 มิลลิเมตร



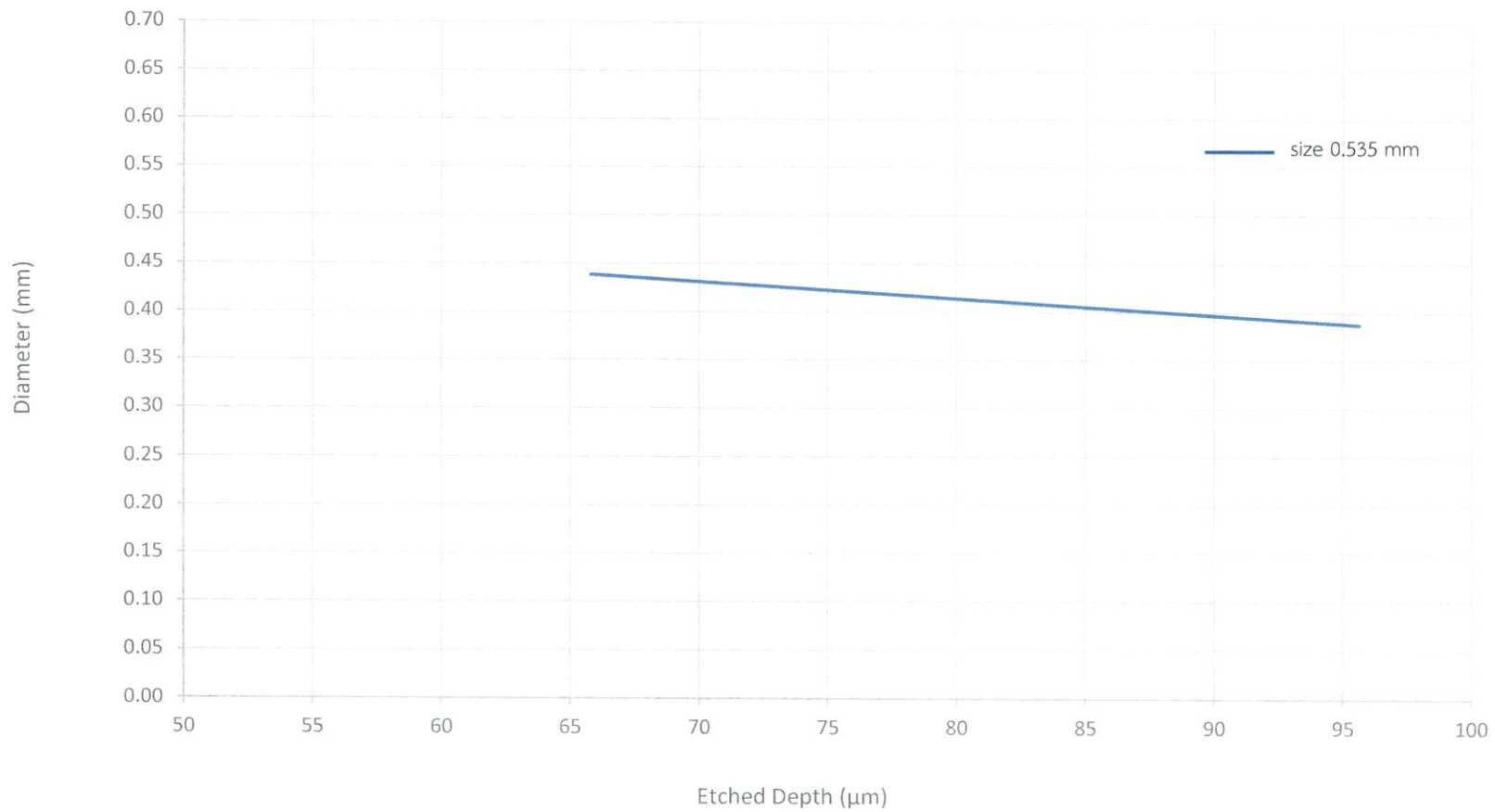
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 2.135 มิลลิเมตร



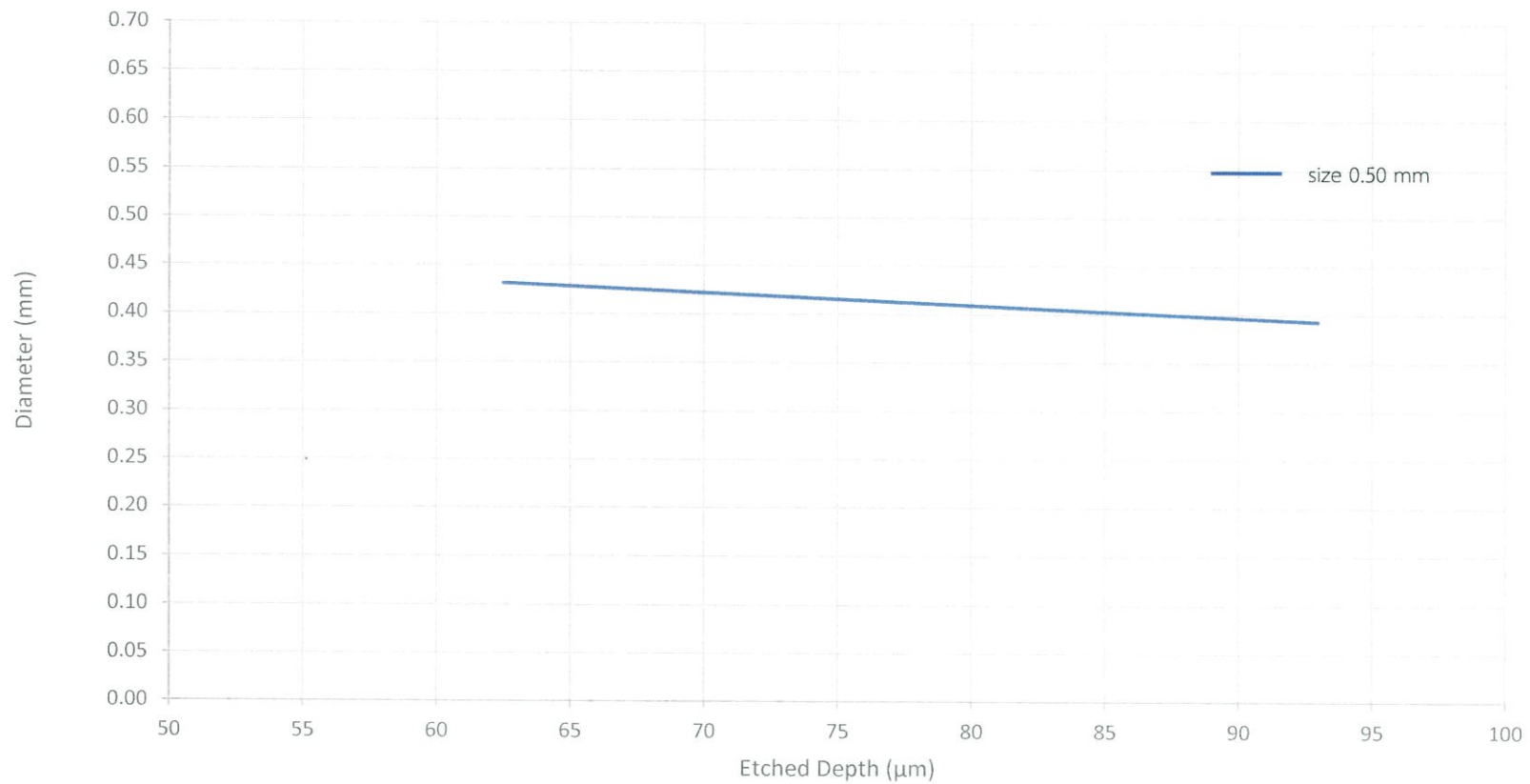
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 2.33 มิลลิเมตร



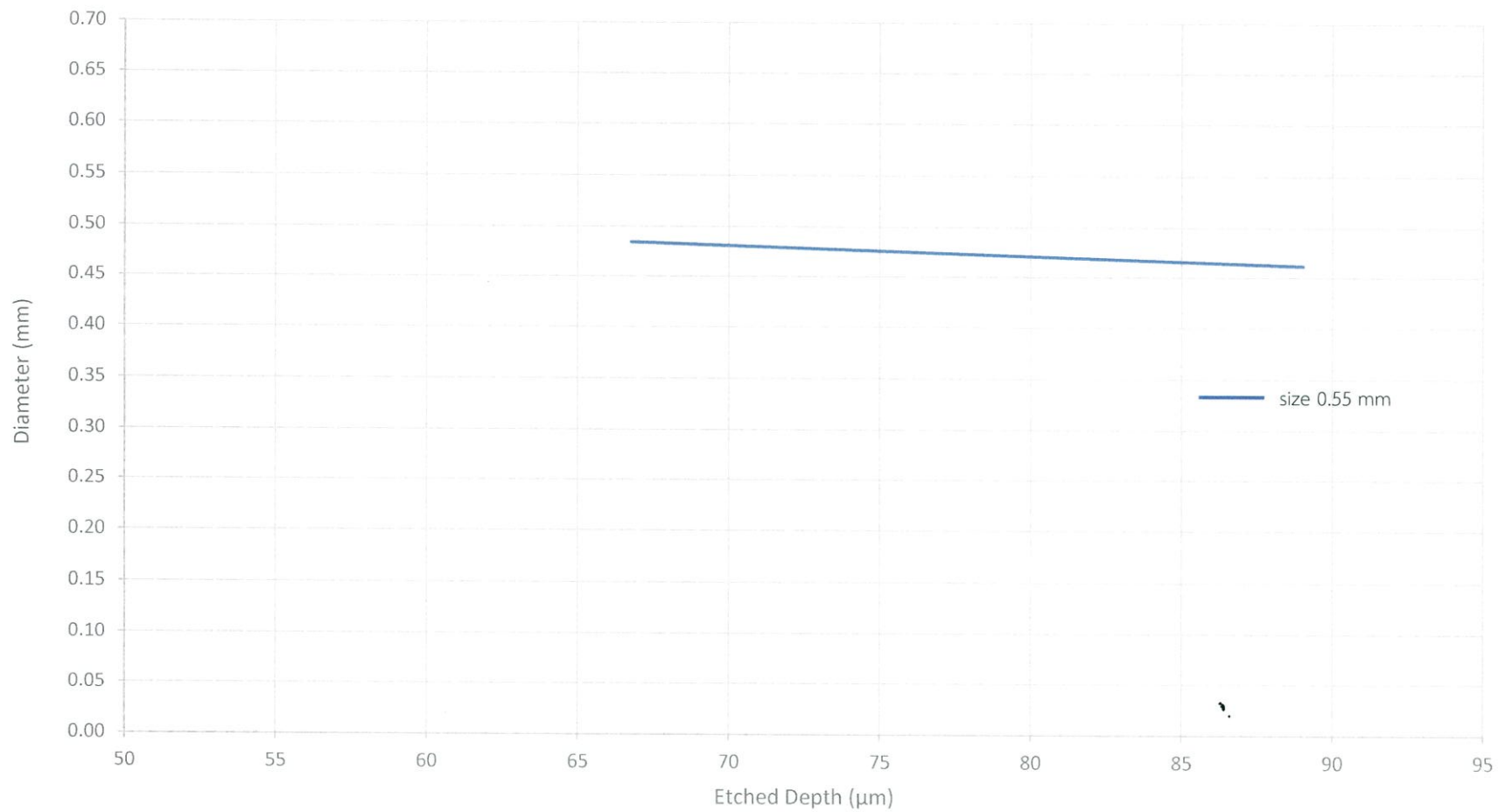
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 2.90 มิลลิเมตร



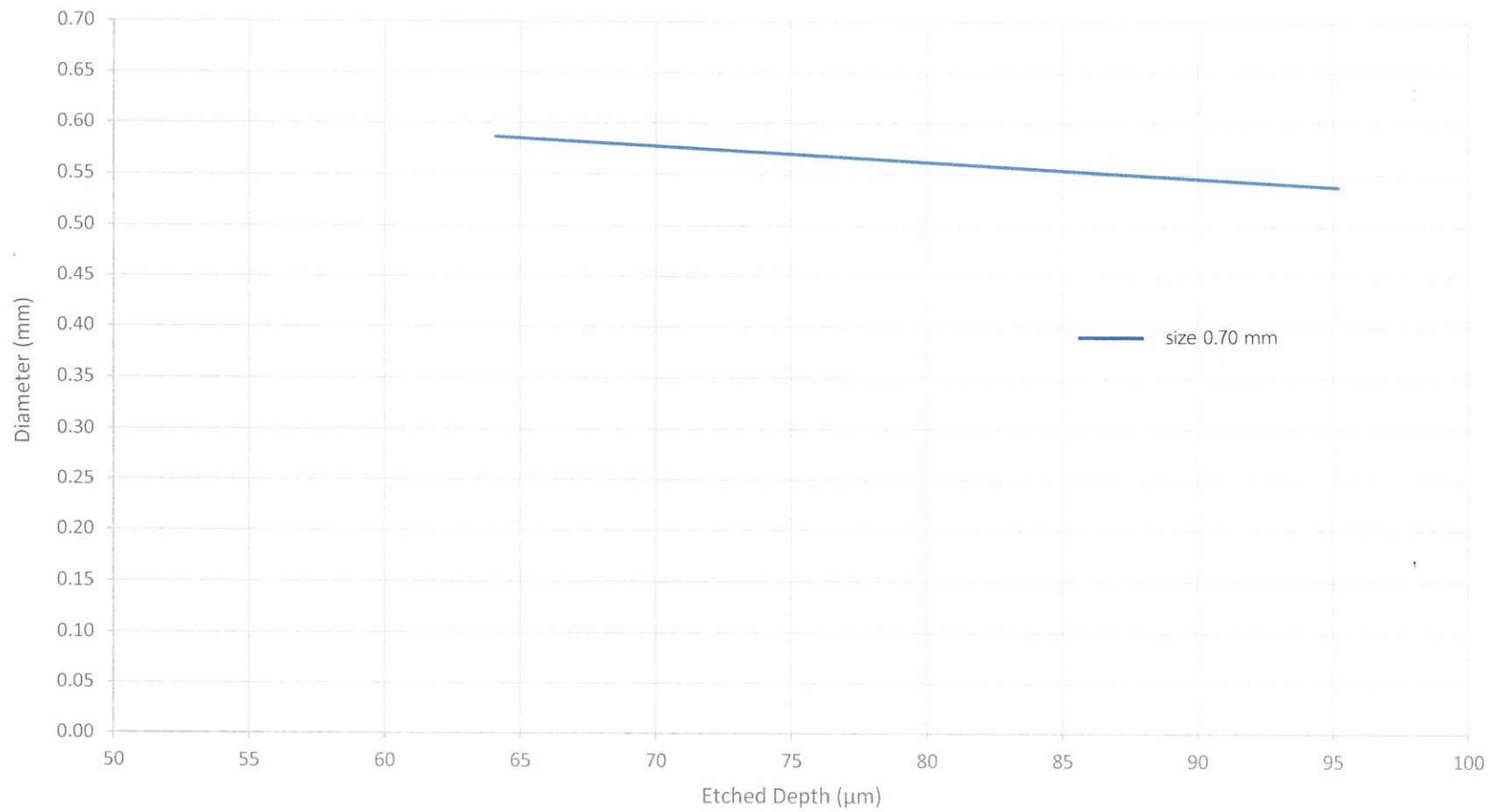
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 2.935 มิลลิเมตร



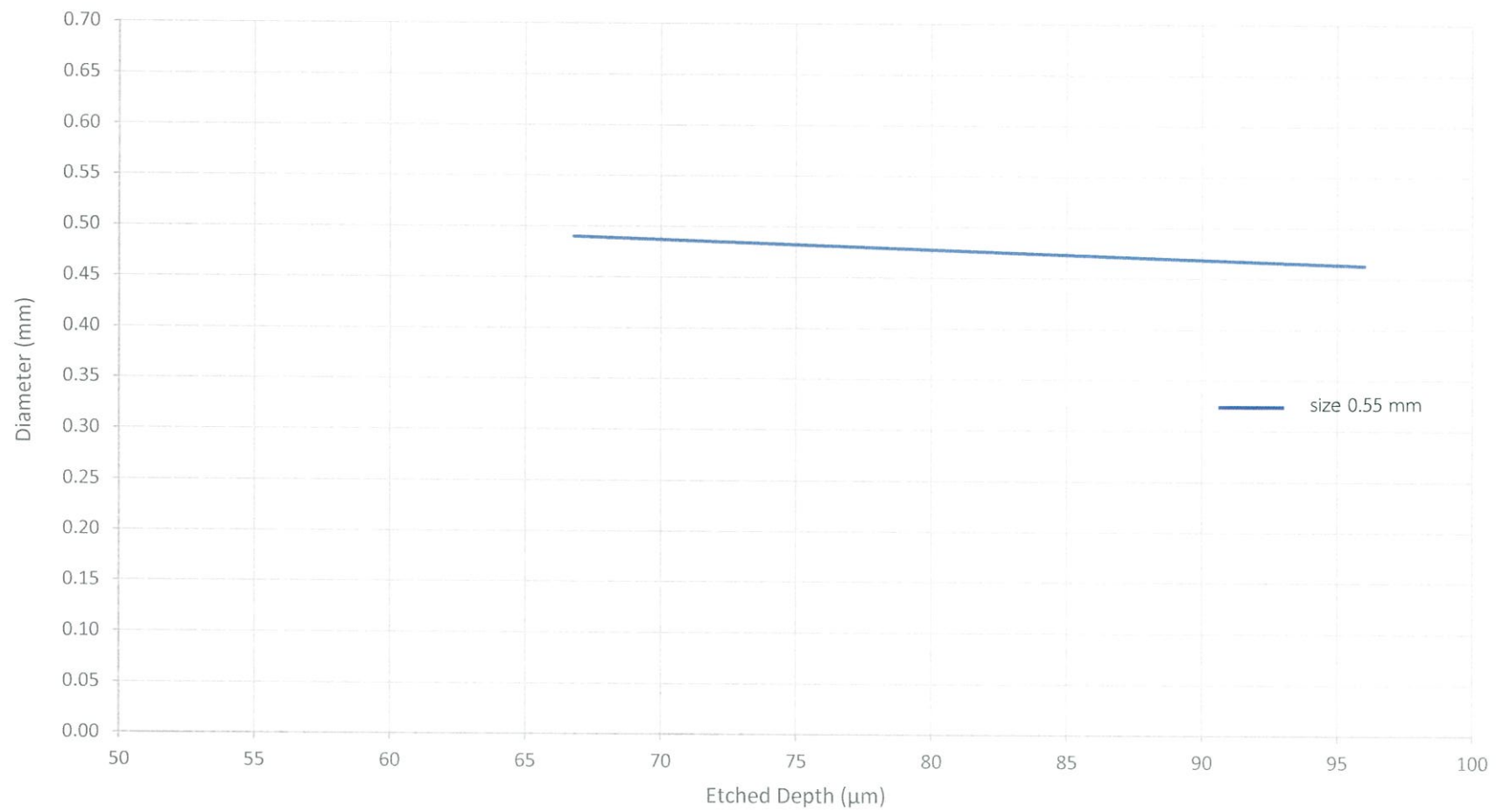
แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 3.40 มิลลิเมตร



แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 3.55 มิลลิเมตร



แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 4.20 มิลลิเมตร



แนวทางการกำหนดขนาด plating เมื่อรูปร่างของ plating คือ สี่เหลี่ยมด้านขนาน และมีขนาด pitch เท่ากับ 4.55 มิลลิเมตร