

**การพัฒนาจานแก้วที่มีความทนทานและความไวสูง
สำหรับกระบวนการวัดเพดานบินของหัวอ่าน/เขียนในฮาร์ดดิสก์**
**Development of High-Durability and High-Sensitivity Glass Disk for
Flying Height Measurement Process**

กรกช เพชรดี, เอกฉันท พิษิตผจงกิจ, อลงกรณ์ พิมพ์พิณ, วีระยุทธ ศรีธรรวานิช *

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร. 0-2218-6586 โทรสาร 0-2252-2889 *อีเมล: werayut.s@chula.ac.th

บทคัดย่อ

ในฮาร์ดดิสก์ เพดานบินของหัวอ่าน/เขียน (flying height) หรือระยะห่างที่หัวอ่าน/เขียนบินเหนือแผ่นบันทึกแม่เหล็กได้ถูกพัฒนาให้มีขนาดต่ำลงเรื่อยๆ ปัจจุบันเพดานบินมีขนาดต่ำกว่า 10 นาโนเมตรเพื่อให้สามารถบันทึกข้อมูลได้หนาแน่นมากขึ้น โดยทั่วไปเพดานบินของหัวอ่าน/เขียนจะถูกวัดในเครื่องวัดเพดานบิน (flying height tester) ซึ่งใช้หลักการแทรกสอดของแสง (interferometry) ผ่านแผ่นจานแก้วใส โดยในขณะทำการวัดหัวอ่าน/เขียนจะเกิดการสัมผัสกับจานแก้วเป็นระยะๆ ซึ่งทำให้จานแก้วเกิดการสึกหรอได้ง่ายทำให้มีอายุการใช้งานสั้น และมีค่าใช้จ่ายในส่วนของจานแก้วนี้ค่อนข้างสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักในการเพิ่มความทนทานของจานแก้วโดยการเคลือบผิวจานแก้วด้วยวัสดุเคลือบแข็งประเภทคาร์บอนคล้ายเพชร (DLC: diamond-like-carbon) ซึ่งจะส่งผลให้อายุการใช้งานของจานแก้วเพิ่มขึ้นและสามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนของจานแก้วลงได้ [1] นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้นำเสนอการปรับปรุงความไว (sensitivity) ในการวัดเพดานบินของหัวอ่าน/เขียนด้วยการปรับความหนาของชั้นเคลือบผิวบนดิสก์ที่พัฒนาขึ้นทำให้สามารถเพิ่มความไวในการวัดเพดานบินโดยเฉพาะที่เพดานบินต่ำๆ

การเคลือบผิวจานแก้วจะเริ่มจากการปลูกชั้นซิลิกอนเพื่อช่วยในการยึดเกาะแล้วตามด้วยชั้น DLC ด้วยวิธีการ ion beam deposition จากการทดสอบการสึกหรอ (wear test) ด้วยเครื่อง triboindenter พบว่าดิสก์ที่พัฒนาขึ้นซึ่งประกอบด้วยชั้นซิลิกอนหนา 3 นาโนเมตรและชั้น DLC หนา 15 นาโนเมตรสามารถลดความสึกของรอยขีดข่วนลงได้ถึง 92 % จากการวัดอายุการใช้งานในเครื่องวัดเพดานบิน พบว่าดิสก์ที่พัฒนาขึ้นนี้มีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างน้อย 30 เท่าเมื่อเทียบกับจานแก้ว จึงสามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนของจานแก้วลงได้ถึง 96% [1] ในส่วนของการปรับปรุงความไวได้พัฒนาดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม 4 ชั้น คือ ชั้นซิลิกอน1 หนา 1 นาโนเมตร, ชั้น DLC1 หนา 55 นาโนเมตร, ชั้นซิลิกอน2 หนา 3 นาโนเมตรและชั้นDLC2 หนา 25 นาโนเมตรซึ่งพบว่าดิสก์ที่พัฒนาขึ้นมีความไวในการวัดเพดานบินเพิ่มมากขึ้นถึง 85 %ในช่วงเพดานบินระหว่าง 0 ถึง 20 นาโนเมตรเมื่อเปรียบเทียบกับารวัดโดยใช้จานแก้วปกติซึ่งสอดคล้องกับผลการคำนวณทางทฤษฎี หนึ่งแนวทางนี้ได้แสดงให้เห็นแล้วว่าสามารถเพิ่มอายุการใช้งานของจานแก้วได้อย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มความไวในการวัดเพดานบินได้อีกด้วย

คำหลัก: จานแก้ว, เพดานบินของหัวอ่าน/เขียน, เครื่องวัดเพดานบิน, วัสดุเคลือบแข็ง, คาร์บอนคล้ายเพชร

Abstract

In hard disks, flying height or the spacing between the read/write head and the magnetic disk has been greatly decreased to less than 10 nm to achieve high-density magnetic storage. Generally, the flying height is measured in a flying height tester using the principle of light interferometry whereas the reflected light is observed through a glass disk. Due to the intermittent contact between the head and glass disk, this characterization process easily causes the scratches leading to short lifetime of the glass disk, thus makes this process very costly. Therefore, the main objective of this work is to improve the disk durability by employing a hard coating material of diamond-like-carbon (DLC) layer as the protective layer over the glass disk to increase its wear resistance resulting in lifetime improvement [1]. Furthermore, this work aims to improve the sensitivity in the flying height measurement by optimizing the thicknesses of the overcoat layers on the glass disk resulting in a significant improvement of the sensitivity in the flying height measurement, especially at very low flying heights.

In the fabrication process, silicon adhesion layer and DLC protective layer were sequentially deposited on the commercial glass disk by ion beam deposition. According to a wear test performed in a triboindenter, the wear depths on the disk coated with 3-nm thick silicon and 15-nm thick DLC were reduced by 92% as compared to that on the glass disk. In the disk lifetime measurement, the fabricated disk lifetime can be improved by at least 30 times as compared to that of the glass disk resulting in 96% of a cost reduction in the flying height measurement process [1]. In the sensitivity improvement, the disk coated with 4 layers (silicon1: 1 nm, DLC1: 55 nm, silicon2: 3 nm and DLC2: 25 nm) was found to improve the sensitivity in the flying height measurement at a near contact (0-20nm) by 85% as compared to the measurement result using a commercial glass disk which well agrees with the theoretical calculation. This approach gives a great promise to the disk lifetime extension as well as the significant improvement of the sensitivity in the flying height measurement process.

Keywords: Glass Disk, Flying Height, Flying Height Tester, Hard Coating, Diamond-like-Carbon

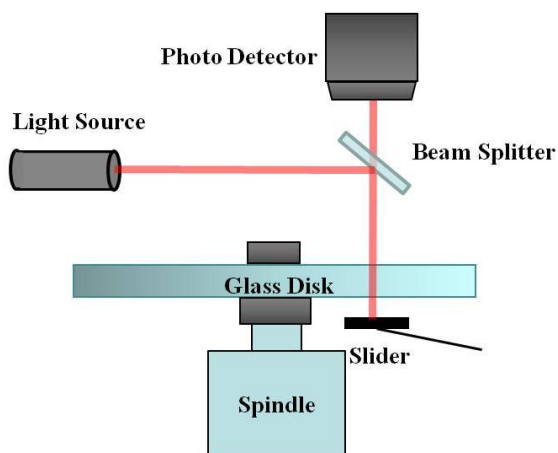
1. บทนำ

ในฮาร์ดดิสก์ เพดานบินของหัวอ่าน/เขียน (Flying height) หรือระยะที่หัวอ่าน/เขียนบินอยู่เหนือแผ่นบันทึกแม่เหล็กถือว่าเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากหัวอ่าน/เขียนจะสามารถอ่านหรือเขียนได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์นี้ ปัจจุบันเพดานบิน มีค่าอยู่ระหว่าง 8 ถึง 50 นาโนเมตรซึ่งในอนาคตมีแนวโน้มว่าจะลดลงต่อเนื่องจากความต้องการในการเพิ่มความหนาแน่นในการบันทึกข้อมูล [2-8] การวัดเพดานบินของหัวอ่าน/เขียนนั้นทำในเครื่องวัดเพดานบิน (Flying height tester) ซึ่งใช้หลักการแทรกสอด (Interferometry) ของแสงเลเซอร์

ระหว่างหัวอ่าน/เขียนและจานแก้ว [4] ดังแสดงในรูปที่ 1 จานแก้วมีความเรียบและตรงเป็นพิเศษซึ่งมีราคาสูง (300 – 500 เหรียญสหรัฐต่อชิ้น) โดยในระหว่างการวัดจะเกิดการสัมผัสกันของหัวอ่าน/เขียนและจานแก้ว ซึ่งเป็นผลให้จานแก้วสึกหรอและเกิดรอยขีดข่วนได้ง่ายจึงทำให้มีค่าใช้จ่ายในส่วนของจานแก้วนี้ที่สูงมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะปรับปรุงความทนทานของจานแก้วเพื่อเพิ่มอายุการใช้งาน ซึ่งจะสามารถลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการวัดเพดานบินของหัวอ่าน/เขียนลงได้

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางในการเพิ่มอายุการใช้งานของจานแก้วโดยการเคลือบผิวจานแก้วด้วย

คาร์บอนคล้ายเพชร (diamond-like-carbon, DLC) ซึ่งเป็นวัสดุเคลือบผิวที่มีความแข็งแรงโดยสามารถเพิ่มความทนทานต่อรอยขีดข่วนและการสึกหรอของจานแก้วได้ ซึ่งจะส่งผลให้จานแก้วมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในเครื่องวัดเพดานบินโดยทั่วไปยังมีข้อจำกัดอีกประการหนึ่งคือความไวในการวัดเพดานบินจะต่ำลงเป็นศูนย์เมื่อระยะเพดานบินต่ำๆ จึงไม่นิยมใช้เครื่องมือนี้วัดระยะเพดานบินที่ต่ำกว่า 10 นาโนเมตรลงมา โดยจะเปลี่ยนไปใช้วิธีการใหม่ทำให้ต้องมีการสั่งซื้อเครื่องวัดเพดานบินประเภทใหม่มาทดแทน ดังนั้นทางคณะวิจัยจึงได้นำเสนอการเพิ่มความไว (sensitivity) ในการวัดเพดานบินของหัวอ่าน/เขียนโดยการเลือกความหนาของชั้นซิลิกอนและ DLC ที่เหมาะสมทำให้ความไวในการวัดเพดานบินของหัวอ่าน/เขียนเพิ่มขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 1 ไลโอะแกรมเครื่องวัดเพดานบินที่ใช้หลักการแทรกสอดของแสง

2. การพัฒนาดีสก์ที่มีความทนทานสูง

ในบทนี้จะได้อธิบายเกี่ยวกับการพัฒนาดีสก์ที่มีความทนทานสูงทำให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น โดยเริ่มจากกระบวนการสร้าง ซึ่งเคลือบผิวจานแก้วด้วยชั้นฟิล์มซิลิกอนเพื่อช่วยในการยึดเกาะแล้วตามด้วยชั้นฟิล์ม DLC ซึ่งพบว่า ความหนาของชั้นซิลิกอนมีผลต่อการมองเห็นของดีสก์ซึ่งส่งผลต่อการวัดเพดานบินเนื่องจากส่งผลต่อการมองเห็นหัวอ่าน pole-tip ซึ่งใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิง ดังนั้นทางคณะวิจัยจึง

ดำเนินการศึกษาหาความหนาของชั้นซิลิกอนที่เหมาะสมในการยึดเกาะส่งผลให้ดีสก์ที่พัฒนาขึ้นมีความทนทานสูงในขณะเดียวกันดีสก์ยังคงความใสซึ่งจำเป็นในการใช้งาน โดยมีการทดสอบดังนี้ คือ การทดสอบการมองเห็น pole-tip ในเครื่องวัดเพดานบินและการทดสอบความทนทานของดีสก์ด้วยการทดสอบการสึกหรอ (wear test) [9-15] ของดีสก์ที่เคลือบผิวด้วยซิลิกอนที่มีความหนาต่างๆ และสุดท้ายนำดีสก์ที่มีความหนาของชั้นซิลิกอนเหมาะสมที่สุดไปทำการวัดหาอายุการใช้งานเปรียบเทียบกับอายุการใช้งานของจานแก้ว

2.1 วิธีการทดลอง

ชั้นฟิล์มซิลิกอนและ DLC จะถูกปลูกลงบนผิวของจานแก้วด้วยวิธีการ ion beam deposition ซึ่งชั้นซิลิกอนช่วยในการยึดเกาะส่วนชั้น DLC ช่วยเพิ่มความแข็งแรงทนทานของจานแก้ว ซึ่งสามารถดูรายละเอียดได้ในเอกสารอ้างอิงที่ 1 จานแก้วที่ถูกเคลือบด้วยซิลิกอนและ DLC จะถูกนำไปทดสอบในเครื่องวัดเพดานบินเพื่อตรวจสอบคุณภาพของฟิล์มที่ปลูกในเบื้องต้น ซึ่งพบว่าจานแก้วที่มีชั้นของซิลิกอนหนาจะส่งผลต่อการมองเห็นตำแหน่ง pole-tip โดยทั่วไปโปรแกรมอัตโนมัติในเครื่องวัดเพดานบินจะหาตำแหน่งของ pole-tip บนหัวอ่าน/เขียนเพื่อใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงในการวัดเพดานบินของตำแหน่งต่างๆ ถ้าดีสก์ที่ใช้แทนจานแก้วทำให้การมองเห็น pole-tip ได้ไม่ชัดเจนจะทำให้โปรแกรมอัตโนมัติไม่สามารถระบุตำแหน่งของ pole-tip ได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการเลือกความหนาของชั้นซิลิกอนที่เหมาะสมไม่บางเกินไปจนทำให้การยึดเกาะของชั้น DLC มีปัญหาและไม่หนาเกินไปจนทำให้เกิดปัญหาในการค้นหาตำแหน่ง pole-tip ด้วยโปรแกรมอัตโนมัติ

เพื่อต้องการศึกษาหาความหนาของชั้นซิลิกอนที่เหมาะสม จึงทำการสร้างดีสก์จำนวน 5 แผ่นที่มีความหนาของชั้นซิลิกอนต่างๆ คือ 1, 3, 5, 7 และ 9 นาโนเมตรโดยที่ความหนาของ DLC กำหนดให้คงที่ที่ 15 นาโนเมตร จากนั้นดีสก์ทั้งหมดจะถูกนำไปทดสอบทั้ง

ในส่วนของการมองเห็นและความทนทานของดิสก์ ในการทดสอบการมองเห็น pole-tip ของดิสก์จะทดสอบโดยการนำดิสก์ไปใช้ในเครื่องวัดเพดานบิน (DFHT5, KLA-tencor) โดยใช้โปรแกรมอัตโนมัติภายในเครื่อง ตรวจหาตำแหน่ง pole-tip ซึ่งดิสก์ที่โปรแกรมอัตโนมัติสามารถหาตำแหน่งของ pole-tip ได้ทุกครั้งจะเป็นดิสก์ที่ผ่านการทดสอบ ในส่วนของความทนทานนั้น ดิสก์ทั้งหมดจะถูกทดสอบในการทดสอบการสึกหรอ (wear test) โดยใช้เครื่อง triboindenter (Hysitron, TI-900) ที่มีหัวปลายแหลม (probe) แบบ cube corner ที่ทำด้วยเพชรและมีรัศมีของหัวปลายแหลม 100 นาโนเมตร การทดสอบจะทำการกดและลากหัวปลายแหลมไปบนพื้นผิวของดิสก์บนพื้นที่ 3x3 ตารางไมโครเมตร ในลักษณะกลับไปกลับมา 1 รอบเพื่อให้เกิดรอยของการสึกหรอโดยใช้ความเร็วในการลากหัวปลายแหลมที่ 7.8 ไมโครเมตร/วินาทีด้วยแรงกดขนาด 60 ไมโครนิวตัน และจะทำการทดสอบซ้ำ 5 ครั้งบนตำแหน่งที่แตกต่างกันเพื่อหาค่าเฉลี่ยของความลึกที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นจะทำการเก็บภาพของรอยสึกหรอ (wear profile) ที่เกิดขึ้นโดยใช้ เครื่อง atomic force microscope (AFM)

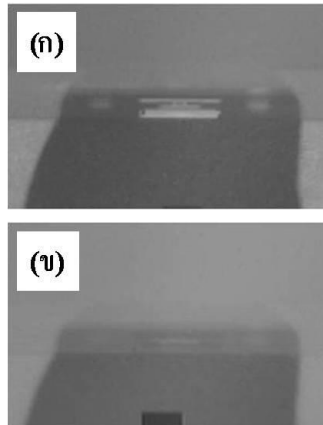
ภายหลังจากการทดสอบข้างต้นดิสก์ที่มีความทนทานสูงสุดในขณะนี้ยังคงสามารถมองเห็น pole-tip ได้อย่างชัดเจนจะถูกเลือกเพื่อนำไปทดสอบวัดอายุการใช้งานในเครื่องวัดเพดานบิน ในการทดสอบวัดอายุการใช้งานนี้ทางคณะวิจัยจะเลือกใช้เฉพาะหัวอ่าน/เขียนที่สามารถบินได้เป็นอย่างดี โดยจะใช้วิธีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการบินของหัวอ่าน/เขียน (มุม skew, ความเร็วเชิงเส้นของดิสก์ และ ระยะห่างระหว่างแท่นยึดหัวอ่าน/เขียนกับจานแก้ว (z-height)) จากสภาวะปกติ (normal condition) ไปเป็นสภาวะวิกฤต (critical condition) ซึ่งจะช่วยให้เกิดการสึกหรอได้เร็วมากขึ้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะสามารถสร้างรอยสึกหรอให้กับดิสก์ต่างๆได้โดยมีรูปแบบที่สม่ำเสมอ และสามารถทำซ้ำได้

ในการวัดอายุการใช้งานของดิสก์นั้นจะทดสอบโดยใช้เครื่องวัดเพดานบิน โดยเริ่มจากการให้หัวอ่าน/เขียนบินด้วยสภาวะปกติ (มุม skew 0 องศา, ความเร็วเชิงเส้นของดิสก์ 565 นิ้ว/วินาที และ ระยะห่างระหว่างแท่นยึดหัวอ่าน/เขียนกับจานแก้ว 0.7688 มิลลิเมตร) เป็นเวลา 1 นาทีจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นเงื่อนไขสภาวะวิกฤต (มุม skew -16.44 องศา, ความเร็วเชิงเส้นของดิสก์ 209 นิ้ว/วินาที และ ระยะห่างระหว่างแท่นยึดหัวอ่าน/เขียนกับจานแก้ว 0.7682 มิลลิเมตร) และคงไว้จนกระทั่งเกิดรอยขีดข่วนขึ้นบนผิวหน้าของดิสก์ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากเศษผง DLC ที่เกิดจากรอยขีดข่วนบนดิสก์ที่มาเกาะบนผิวหน้าของหัวอ่าน/เขียน โดยจะตรวจสอบผ่านทางจอมอนิเตอร์ที่แสดงภาพผิวหน้าของหัวอ่าน/เขียน ในขณะที่ทำการวัด ในการทดสอบนี้ระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบได้กำหนดไว้ไม่เกิน 30 นาที โดยที่อายุการใช้งานของดิสก์ในแต่ละลู่วิ่ง (track) ระบุได้จากระยะเวลาที่หัวอ่าน/เขียนบินจนกระทั่งเกิดรอยขีดข่วนขึ้น จากนั้นทำการทดสอบซ้ำ 11 ลู่วิ่งจานแก้วและ 5 ลู่วิ่งดิสก์ที่เคลือบผิวด้วยซิลิกอนและ DLC เพื่อหาค่าเฉลี่ยของอายุการใช้งานของดิสก์ที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับของจานแก้ว

2.2 ผลการทดลอง

ก. การทดสอบความชัดเจนในการมองเห็น pole-tip ของดิสก์

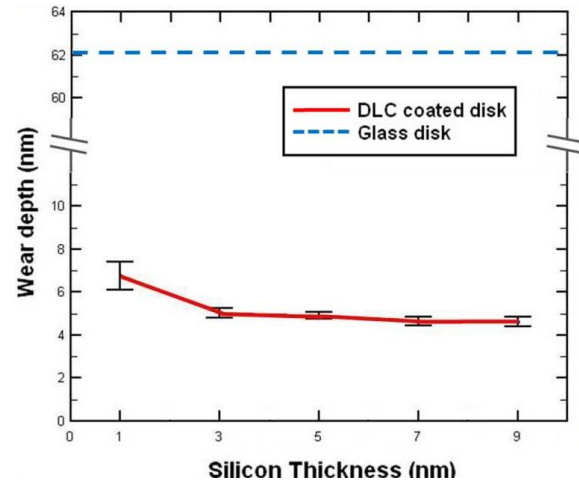
รูปที่ 4 แสดงถึงภาพของ pole-tip ที่กล้อง CCD ภายในเครื่องวัดเพดานบินถ่ายผ่านดิสก์ที่เคลือบผิวด้วยซิลิกอนที่มีความหนา 3 และ 9 นาโนเมตร ซึ่งจากผลการทดสอบความชัดเจนในการมองเห็น pole-tip พบว่าดิสก์ที่มีความหนาซิลิกอนน้อยกว่าจะให้ภาพของ pole-tip ที่มีความชัดเจนกว่าซึ่งโปรแกรมอัตโนมัติในเครื่องวัดเพดานบินจะสามารถตรวจหาตำแหน่ง pole-tip ได้ถูกต้องทุกครั้งเมื่อดิสก์มีความหนาของชั้นซิลิกอนตั้งแต่ 3 นาโนเมตรลงมา ดังนั้นดิสก์ที่ผ่านการทดสอบคือดิสก์ที่มีชั้นซิลิกอนหนา 1 และ 3 นาโนเมตร



รูปที่ 2 ความชัดเจนของ pole-tip มองผ่านดิสก์ที่มีชั้นซิลิกอนหนา 3 นาโนเมตร และ (ข) ซิลิกอนหนา 9 นาโนเมตร

ข. การทดสอบการสึกหรอของดิสก์

รูปที่ 3 แสดงถึงความลึกของรอยสึกหรอที่เกิดขึ้นบนดิสก์ที่มีความหนาของชั้นซิลิกอนต่าง ๆ และเปรียบเทียบกับกรณีจานแก้ว (เส้นประ) โดยรูปที่ 3 แสดงภาพ AFM ของรอยสึกหรอบนจานแก้วกับรอยสึกหรอบนดิสก์ที่มีชั้นซิลิกอนหนา 1 นาโนเมตร และชั้น DLC หนา 15 นาโนเมตร ซึ่งจะเห็นว่าดิสก์ที่เคลือบผิวด้วยซิลิกอนและ DLC จะมีความทนทานต่อการสึกหรอดีกว่าจานแก้วอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสังเกตได้จากความลึกของรอยสึกหรอลดลงอย่างมากจาก 62.2 นาโนเมตรบนจานแก้วลงมาถึง 6.8 นาโนเมตรบนดิสก์ที่มีซิลิกอนหนา 1 นาโนเมตร ซึ่งจากผลการทดลองยังพบอีกว่าการเพิ่มความหนาของชั้นซิลิกอนจาก 1 นาโนเมตร เป็น 3 นาโนเมตร จะสามารถเพิ่มความทนทานต่อการสึกหรอได้อย่างมีนัยสำคัญโดยความลึกของรอยสึกหรอลดลงจาก 6.8 นาโนเมตรเป็น 5.0 นาโนเมตร อย่างไรก็ตามในการเพิ่มความหนาซิลิกอนให้มากกว่า 3 นาโนเมตรไม่แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของความลึกของรอยสึกหรออย่างมีนัยสำคัญจากผลการทดสอบความชัดเจนในการมองเห็น pole-tip และการทดสอบความทนทานของดิสก์พบว่าดิสก์ที่มีซิลิกอนหนา 3 นาโนเมตรและ DLC 15 นาโนเมตรนั้นเป็นดิสก์ที่ให้ผลการทดสอบดีที่สุดดังนั้นดิสก์นี้จะถูกเลือกเพื่อนำไปทดสอบวัดอายุการใช้งานต่อไป



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของรอยสึกหรอกับความหนาของชั้นซิลิกอน โดยเส้นประแสดงความลึกของรอยสึกหรอบนจานแก้วปกติ

ค. การวัดอายุการใช้งานของดิสก์

จากผลการทดลอง อายุการใช้งานของจานแก้วอยู่ที่ 58 วินาทีส่วนอายุการใช้งานของดิสก์ที่พัฒนาขึ้นนั้นจากการทดสอบเป็นเวลา 1800 วินาที (30 นาที) สังเกตเห็นเศษผง DLC ในปริมาณเพียงเล็กน้อยซึ่งดิสก์ยังไม่มีอาการสึกหรออย่างชัดเจน จึงสามารถสรุปได้ว่าดิสก์ที่พัฒนาขึ้นมีอายุการใช้งานมากกว่า 30 นาทีภายหลังการทดสอบได้ทำการตรวจวัดรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นบนจานแก้วและบนดิสก์ที่เคลือบด้วยซิลิกอนหนา 3 นาโนเมตรและ DLC หนา 15 นาโนเมตรจะถูกตรวจสอบด้วยเครื่องวัด surface profilometer (P.16+, KLA-tencor) ซึ่งพบว่ารอยขีดข่วนบนจานแก้วนั้นลึกประมาณ 1 ไมโครเมตร ในขณะที่รอยขีดข่วนบนดิสก์ที่พัฒนาขึ้นนั้นลึกเพียงประมาณ 10 นาโนเมตร ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าดิสก์ที่พัฒนาขึ้นมีรอยขีดข่วนที่น้อยกว่าและยังจะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า 30 นาที

3. การพัฒนาดิสก์ที่มีความไวในการวัดสูง

เนื่องจากในกระบวนการวัดระยะเพดานบินด้วยวิธีการแทรกสอดของแสงที่นิยมใช้ในปัจจุบันนั้น มีปัญหาเรื่องความไวในการวัดเพดานบินนั้นจะมีค่าต่ำเกินไปเมื่อเพดานบินมีค่าต่ำๆ ทำให้ไม่

สามารถวัดเพดานบินที่มีค่าต่ำๆได้อย่างถูกต้องแม่นยำ [5] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการพัฒนาดิสก์ที่มีความไวในการวัดสูงโดยปรับความหนาของชั้นฟิล์มที่เคลือบบนจานแก้วให้เหมาะสม ซึ่งทำให้ความไวในการวัดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจะส่งผลให้สามารถวัดค่าเพดานบินที่มีค่าต่ำๆได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

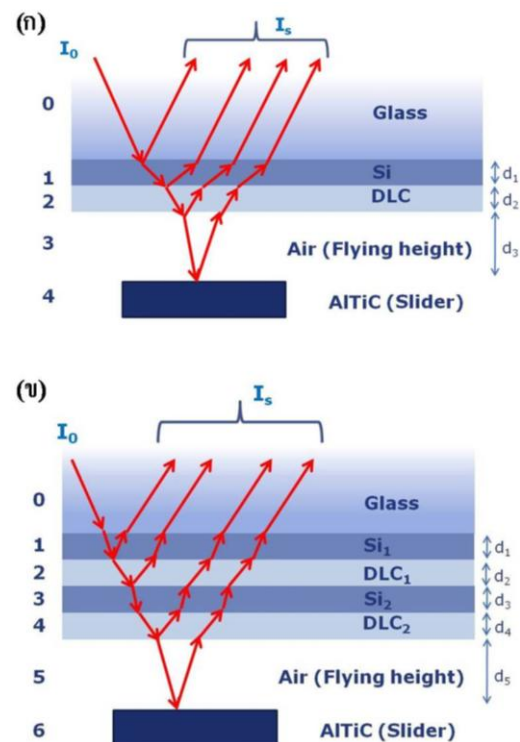
ซึ่งจากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่าดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์มซิลิกอนและ DLC จะมีความไวในการวัดเพดานบินเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยที่ความไวในการวัดเพดานบินคือการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงที่วัดได้เมื่อเพดานบินเปลี่ยนไป 1 นาโนเมตรหรือก็คือความชันของเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเพดานบิน ซึ่งลักษณะของเส้นโค้งดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับดัชนีหักเหและความหนาของฟิล์มที่ใช้เคลือบ ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการคำนวณเพื่อเลือกความหนาของฟิล์มที่เหมาะสมที่จะนำมาเคลือบเพื่อปรับปรุงความไวในการวัดเพดานบินให้มีค่าสูงขึ้น ลักษณะของดิสก์ที่จะใช้ในการปรับปรุงความไวในการวัดนั้นมี 2 รูปแบบ คือ ดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม 2 ชั้น และดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม 4 ชั้น ซึ่งลักษณะของดิสก์ทั้ง 2 แบบแสดงไว้ดังรูปที่ 4(ก) และ (ข)

3.1 การคำนวณความเข้มแสงที่ได้จากการแทรกสอดกรณีใช้ดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์มหลายชั้น

ในการวัดเพดานบินของหัวอ่าน/เขียนนั้นนิยมใช้วิธีการทางแสง [2-3] ซึ่งจะวิเคราะห์หาค่าเพดานบินตามหลักการแทรกสอดของแสงระหว่างจานแก้วและหัวอ่าน/เขียน ดังแสดงแบบจำลองไว้ในรูปที่ 1 ในเครื่องวัดเพดานบินจะจำลองลักษณะการบินของหัวอ่าน/เขียนบนจานแก้วใสแทนแผ่นจานแม่เหล็กแสงจากแหล่งกำเนิดจะสะท้อนที่ระหว่างจานแก้วและหัวอ่าน/เขียนซึ่งเกิดการแทรกสอดกันแล้วกลับมาที่ photo detector โดยระยะห่างระหว่างหัวอ่าน/เขียนและจานแก้วหรือเพดานบินนั้นทำให้ความเข้มของแสงสะท้อนที่ได้จากการแทรกสอดมีค่าแตกต่างกันไป



รูปที่ 4 ลักษณะของดิสก์ที่จะใช้ในการปรับปรุงความไวในการวัดเพดานบินของหัวอ่าน/เขียนดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม (ก) 2 ชั้น (ข) 4 ชั้น



รูปที่ 5 แบบจำลองในการคำนวณการแทรกสอดของแสง (ก) กรณีดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม 2 ชั้นและ (ข) กรณีดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม 4 ชั้น เมื่อนำไปใช้ในเครื่องวัดเพดานบิน

ดังนั้นในเครื่องวัดเพดานบินจะทำการวัดความเข้มของแสงที่ได้จากการแทรกสอดนี้เพื่อวิเคราะห์หาค่าเพดานบิน [3-5, 16] โดยเครื่องวัดเพดานบินที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้แสงที่ 3 ความยาวคลื่น (450, 550 และ 650 นาโนเมตร) ในการวัดเพดานบินของหัวอ่าน/

เขียน การวัดเพดานบินโดยใช้ดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์มซิลิกอนและ DLC ที่มีลักษณะดังรูปที่ 4 สามารถเขียนเป็นแบบจำลองในการคำนวณที่มีลักษณะการสะท้อนของแสงที่รอยต่อระหว่างดิสก์และหัวอ่าน/เขียนดังรูปที่ 5

ในกรณีของดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม 2 ชั้นซึ่งมีแบบจำลองในการคำนวณและลักษณะการแทรกสอดของแสงดังรูปที่ 5(ก) สามารถคำนวณความเข้มของแสงที่สะท้อนออกมาโดยใช้ทฤษฎีฟิล์มบาง (thin film theory) [17] ได้ดังสมการที่ (1)

$$I_s = I_0 \left[\frac{r_{01} + r_{1234} e^{2i\beta_1}}{1 + r_{01} r_{1234} e^{2i\beta_1}} \right]^2 \quad \text{--- (1)}$$

โดยที่

$$\beta_i = 2\pi \left(\frac{d_i}{\lambda} \right) n_i \quad \text{--- (2)}$$

$$r_{ij} = \frac{(n_i + ik_i) - (n_j + ik_j)}{(n_i + ik_i) + (n_j + ik_j)} \quad \text{--- (3)}$$

$$r_{1234} = \left[\frac{r_{12} + r_{234} e^{2i\beta_2}}{1 + r_{12} r_{234} e^{2i\beta_2}} \right], \quad r_{234} = \left[\frac{r_{23} + r_{34} e^{2i\beta_3}}{1 + r_{23} r_{34} e^{2i\beta_3}} \right]$$

I_s คือความเข้มแสงจากการแทรกสอดที่สะท้อนกลับมาจากรอยต่อระหว่างดิสก์และหัวอ่าน/เขียน I_0 คือความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิด d_1, d_2 และ d_3 คือความหนาของชั้นซิลิกอน, ชั้น DLC และชั้นอากาศ (เพดานบิน) ดังที่แสดงในรูปที่ 5(ก), λ คือความยาวคลื่นแสง, β_i คือเฟสที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากแสงเดินทางผ่านชั้นตัวกลาง i, r_{ij} คือสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนระหว่างชั้นตัวกลาง i และ j โดยที่ i คือชั้นของตัวกลางแรกที่แสงเดินทางผ่านและ j คือชั้นของตัวกลางที่สะท้อนแสงกลับมา n และ k คือ refractive index และ extinction coefficient

ในกรณีของดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม 4 ชั้นซึ่งมีแบบจำลองในการคำนวณ, ลักษณะการสะท้อนของแสงและกำหนดความหนาของชั้นฟิล์มต่างๆ (d_i) ดังรูปที่ 5(ข) สามารถใช้ทฤษฎีฟิล์มบางในการคำนวณความเข้มแสงที่สะท้อนกลับมาได้ดังสมการที่ (4) โดย

β_i และ r_{ij} สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) และ (3)

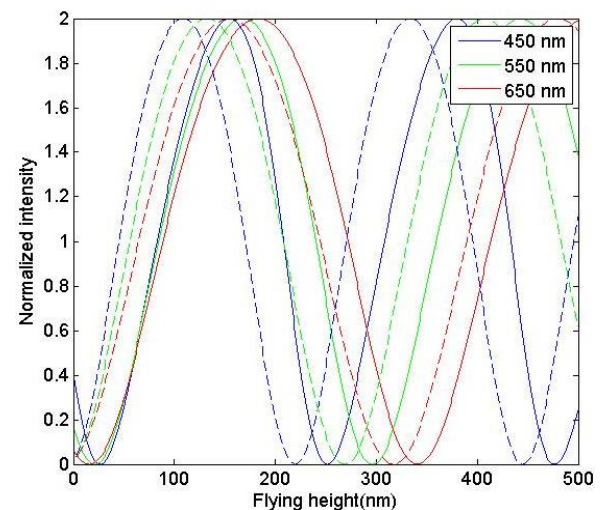
$$I_s = I_0 \left[\frac{r_{01} + r_{12345} e^{2i\beta_1}}{1 + r_{01} r_{12345} e^{2i\beta_1}} \right]^2 \quad \text{--- (4)}$$

โดยที่

$$r_{123456} = \left[\frac{r_{12} + r_{23456} e^{2i\beta_2}}{1 + r_{12} r_{23456} e^{2i\beta_2}} \right], \quad r_{23456} = \left[\frac{r_{23} + r_{3456} e^{2i\beta_3}}{1 + r_{23} r_{3456} e^{2i\beta_3}} \right]$$

$$r_{3456} = \left[\frac{r_{34} + r_{456} e^{2i\beta_4}}{1 + r_{34} r_{456} e^{2i\beta_4}} \right], \quad r_{456} = \left[\frac{r_{45} + r_{56} e^{2i\beta_5}}{1 + r_{45} r_{56} e^{2i\beta_5}} \right]$$

รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างของผลการคำนวณของความเข้มแสงจาก (4) ที่ถูกทำให้มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 2 (normalization) ที่แสดงเป็นฟังก์ชันของเพดานบินในกรณีของดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม 4 ชั้น โดยเส้นประแสดงถึงเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเพดานบินในกรณีของจานแก้วในการคำนวณนี้ใช้ดรรชนีหักเหของชั้นฟิล์มต่างๆดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยพิจารณาที่เพดานบินในช่วง 0 ถึง 500 นาโนเมตรและความหนาของฟิล์มทั้ง 4 ชั้นกำหนดให้เท่ากับ 1 นาโนเมตร จากรูปที่ 6 จะเห็นว่าในกรณีของ



รูปที่ 6 ตัวอย่างการคำนวณของความเข้มแสงที่เป็นฟังก์ชันของเพดานบิน ของดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม 4 ชั้นที่มีความหนาของ Si_1, DLC_1, Si_2 และ DLC_2 1 นาโนเมตร โดยที่เส้นประแสดงถึงเส้นโค้งความสัมพันธ์ในกรณีที่ใช้จานแก้ว

ตารางที่ 1 ดรรชนีหักเหของชั้นตัวกลางต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ

Material	Refractive index (n+ik)		
	Wavelength 450 nm	Wavelength 550 nm	Wavelength 650 nm
Glass disk	1.54+0.02i	1.51+0.01i	1.52
Air (Flying height)	1	1	1
Silicon	4.419+1.328i	4.232+0.634i	4.014+0.309i
DLC	2.169+0.2087i	2.1699+0.1416i	2.1631+0.0985i
AlTiC (Slider)	2.39+0.432i	2.354+0.363i	2.289+0.344i

จานแก้ว (เส้นประ) ที่เพดานบินต่ำกว่า 15 นาโนเมตร ความชันของเส้นโค้งความเข้มแสง หรือ ความไวในการวัดเพดานบินจะลดลงเข้าใกล้ศูนย์ ส่วนในกรณีของดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม 4 ชั้นจะมีลักษณะของเส้นโค้งความเข้มแสงที่แตกต่างไปจากจานแก้วซึ่งความไวในการวัดเพดานบินก็จะแตกต่างไปจากจานแก้วด้วย

3.2 การหาความหนาของชั้นฟิล์มที่เหมาะสมในการพัฒนาดิสก์ที่มีความไวในการวัดสูง

จากหลักการคำนวณความเข้มแสงจากการแทรกสอดในทางทฤษฎีตามที่ได้อธิบายในหัวข้อที่แล้วนั้นสามารถหาความไวในการวัดที่ระดับเพดานบินหนึ่งๆ โดยดูจากความชันของกราฟความสัมพันธ์ของความเข้มแสงและระยะเพดานบินที่จุดนั้นๆ ดังนั้นเราสามารถหาความไวในกรณีที่เราทราบค่าตัวแปรทุกตัวได้ ในทางกลับกันเราสามารถนำมาประยุกต์หาความหนาของชั้นฟิล์มต่างๆที่เหมาะสมในการพัฒนาดิสก์ที่มีความไวในการวัดสูงได้ โดยทำการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นฟิล์มต่างๆในการคำนวณจนได้ความหนาของชั้นฟิล์มต่างๆที่ทำให้ความไวในการวัดมีค่าสูงสุด เมื่อได้ความหนาของชั้นฟิล์มต่างๆดังกล่าวก็สามารถนำข้อมูลความหนาของชั้นฟิล์มต่างๆที่ได้ไปพัฒนาดิสก์ต้นแบบต่อไป ปัจจุบันการวัดเพดานบินจะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 70 นาโนเมตร ดังนั้นในงานวิจัยนี้กำหนดให้ความไวในการวัดคือผลรวมของความไวที่ค่าเพดานบิน 1, 10, 20, 30, 40 และ 50 นาโนเมตรของทั้ง 3 ความยาวคลื่นที่คำนวณมาจากผลรวมของ

ความชันของเส้นโค้งความเข้มแสงกับเพดานบินดังกล่าวของทั้ง 3 ความยาวคลื่น โดยทำการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นฟิล์มต่างๆเพื่อหาความหนาของชั้นฟิล์มที่ทำให้ความไวในการวัดเพดานบินมีค่าสูงสุด

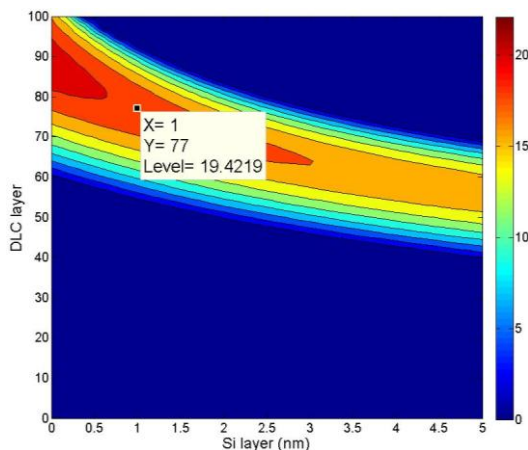
ในกรณีของดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม 2 ชั้นความไวในการวัดจะถูกคำนวณโดยมีแบบจำลองในการคำนวณดังรูปที่ 5(ก) โดยใช้ทฤษฎีฟิล์มบาง โดยขอบเขตของความหนาของแต่ละชั้นฟิล์มที่พิจารณาเป็นดังนี้ ความหนาของซิลิกอน (d1) ตั้งแต่ 0 ถึง 5 นาโนเมตร ความหนาของ DLC (d2) ตั้งแต่ 0 ถึง 400 นาโนเมตร โดยที่ดรรชนีหักเหของแต่ละชั้นฟิล์มได้มาจากการวัดในเครื่อง ellipsometer ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ในกรณีของดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม 4 ชั้นก็สามารถกระทำได้ด้วยวิธีการเดียวกัน โดยกำหนดขอบเขตความหนาของแต่ละชั้นฟิล์มเป็นดังนี้ ความหนาของชั้นซิลิกอนทั้ง 2 ชั้นในช่วงระหว่าง 0 ถึง 5 นาโนเมตร ความหนาของชั้น DLC ทั้ง 2 ชั้นในช่วงระหว่าง 0 ถึง 400 นาโนเมตร

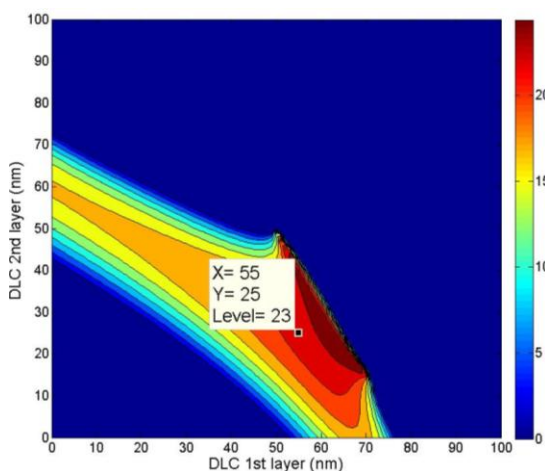
ในการสร้างดิสก์นั้นต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของความหนาในการปลูกฟิล์มด้วย ดังนั้นในการเลือกความหนาที่จะใช้ในการสร้างดิสก์นั้นจะต้องพิจารณาความคลาดเคลื่อนดังกล่าวโดยไม่ทำให้ความไวในการวัดเพดานบินนั้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงการยึดเกาะของชั้น DLC กับจานแก้วด้วยโดยหากชั้น DLC มี

ความหนาเกินกว่า 50 นาโนเมตรขึ้นไปก็จำเป็นต้องมีชั้นซิลิกอนเพื่อช่วยการยึดเกาะของชั้น DLC บนจานแก้วด้วย

ซึ่งภายหลังการพิจารณา ในส่วนของดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม 2 ชั้นจะเลือกสร้างดิสก์ที่เคลือบด้วยชั้นซิลิกอนหนา 1 นาโนเมตรและ DLC หนา 77 นาโนเมตร โดยที่ความไวในการวัดสามารถเพิ่มขึ้นจากจานแก้ว 19.42% ดังรูปที่ 7 ส่วนดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม 4



รูปที่ 7 ความไวในการวัดเพดานของดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม 2 ชั้นที่ความหนาของฟิล์มที่เลือกคือซิลิกอน 1 นาโนเมตรและ DLC 77 นาโนเมตรโดยแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ที่เพิ่มขึ้นจากจานแก้ว



รูปที่ 8 ความไวในการวัดเพดานของดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม 4 ชั้นที่ความหนาของฟิล์มที่เลือกคือ Si_1 : 1, DLC_1 : 55, Si_2 : 3 และ DLC_2 : 25 นาโนเมตรโดยแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ที่เพิ่มขึ้นจากจานแก้ว

ชั้นจะเลือกสร้างที่ความหนาของ Si_1 : 1, DLC_1 : 55, Si_2 : 3 และ DLC_2 : 25 นาโนเมตร โดยทำให้ความไวในการวัดเพิ่มขึ้นจากจานแก้ว 23% ดังรูปที่ 8 หลังจากทีเลือกความหนาได้แล้วดิสก์ทั้ง 2 แบบจะถูกสร้างตามความหนาที่กำหนด

3.3 การทดลอง

ในการวัดความไวในการวัดเพดานบินของดิสก์ที่สร้างขึ้นและของจานแก้วเปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณ หนึ่งในวิธีการวัดความไวของดิสก์สามารถทำได้โดยการวัดความเข้มแสงสะท้อนที่เพดานบินต่างๆ เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างเป็นเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเพดานบินดังแสดงในรูปที่ 6 โดยที่ความชันของเส้นโค้งที่ระดับเพดานบินหนึ่งๆแสดงถึงความไวในการวัดเพดานบินของดิสก์ที่ค่าเพดานบินนั้น

การวัดความไวของดิสก์มีขั้นตอนดังนี้ เริ่มจากการกำหนดตำแหน่งที่ต้องการวัดบนผิวหน้า (ABS: air bearing surface) ของหัวอ่าน/เขียนดังรูปที่ 9 จากนั้นทำการวัดความเข้มแสงและเพดานบินที่ตำแหน่งที่กำหนดเพื่อนำข้อมูลดังกล่าวจำนวน 4 จุดมาพลอตบนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเพดานบิน โดยการวัดความเข้มแสงจะใช้ดิสก์ที่พัฒนาขึ้น ส่วนการวัดค่าเพดานบินนั้นตามความเป็นจริงควรวัดบนดิสก์ที่พัฒนาขึ้นเช่นกัน หากแต่การวัดดังกล่าวนั้นอาจจะมีความซับซ้อนและได้ค่าที่ไม่ถูกต้องจึงให้วัดเพดานบินโดยใช้จานแก้วแทนเนื่องจากดิสก์ทั้ง 2 มีลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากดิสก์ที่พัฒนาขึ้นนั้นมาจากเคลือบผิวจานแก้วด้วยฟิล์มที่บางน้อยกว่า 100 นาโนเมตร ดังนั้นค่าเพดานบินของหัวอ่าน/เขียน บนจานแก้วและบนดิสก์ที่พัฒนาขึ้นควรจะค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ในการวัดดังกล่าวจะทำการวัดค่าความเข้มแสงและค่าเพดานบินซ้ำ 5 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยของค่าทั้ง 2 บนตำแหน่งทั้ง 4 จุดที่กำหนด จากนั้นนำค่าที่ได้มาพลอตเปรียบเทียบกับเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเพดานบินที่ได้จากการคำนวณ

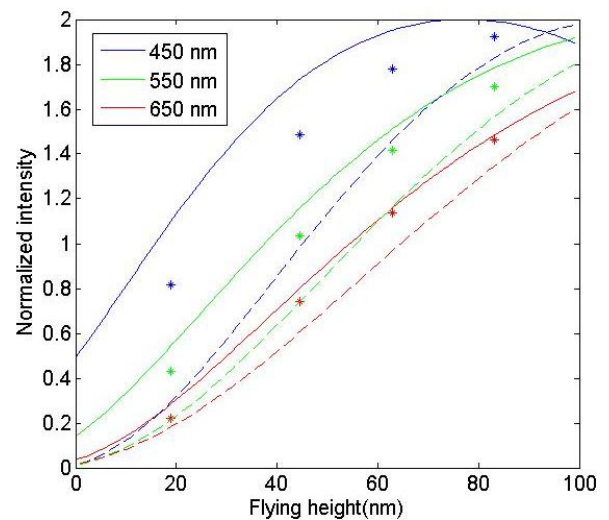


รูปที่ 9 ตำแหน่งบน ABS ที่ใช้ทำการวัดเพดานและความเข้มแสงเพื่อทดสอบความไว โดยที่ความสูงของเพดานบินเรียงจากต่ำ (จุดบน) ไปสูง (จุดล่าง)

3.4 ผลการทดลอง

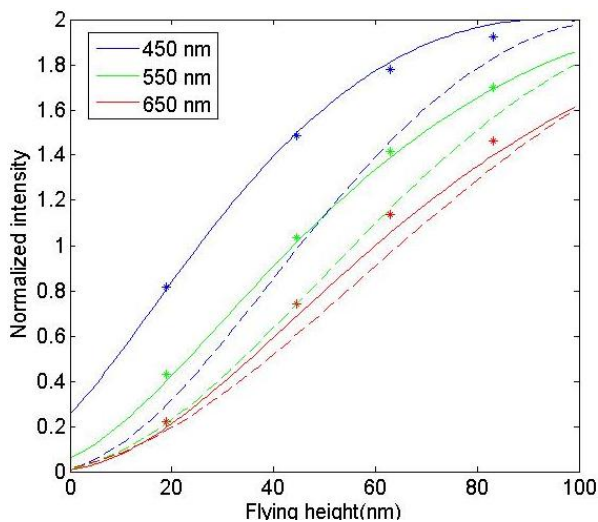
ในกรณีของดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม 2 ชั้นจากผลการทดสอบพบว่าข้อมูลความเข้มแสงกับเพดานบินที่จุดต่างๆที่ได้จากการวัดนั้นมีความสอดคล้องกับเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเพดานบินที่ได้จากการคำนวณ (โดยใช้ความหนาซิลิกอน 1 นาโนเมตรและ DLC 77 นาโนเมตร) ดังแสดงในรูปที่ 17 แต่ยังคงมีความแตกต่างกันอยู่บ้าง ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุมาจากความคลาดเคลื่อนของความหนาของฟิล์มทั้ง 2 ชั้นในกระบวนการสร้าง เนื่องจากในเครื่อง ion beam deposition ที่ใช้ในการสร้างฟิล์มนั้นไม่มีระบบวัดความหนาของชั้นฟิล์ม (thickness monitoring system) แต่ใช้การควบคุมเวลาในการปลูกฟิล์มโดยคำนวณเวลาในการปลูกฟิล์มจากความหนาของฟิล์มที่ต้องการหารด้วยอัตราการปลูกฟิล์ม (deposition rate) ดังนั้นความคลาดเคลื่อนของความหนาอาจมาจากการใช้อัตราการปลูกฟิล์มที่มีความคลาดเคลื่อน ทั้งนี้ทางคณะวิจัยได้ทำการวัดอัตราการปลูกฟิล์มของฟิล์ม DLC ส่วนฟิล์มซิลิกอนนั้นใช้ข้อมูลอัตราการปลูกฟิล์มที่ทางบริษัทได้ทำการวัดไว้ จากที่มีความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่ได้จากการวัดและค่ากราฟที่ได้จากการคำนวณนั้น ทางคณะวิจัยสันนิษฐานว่าน่าจะมาจากการที่ความหนาของชั้นฟิล์มที่ปลูกมีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ใช้ในการ

คำนวณ ดังนั้นทางคณะวิจัยจึงได้ปรับความหนาของฟิล์มที่ใช้ในการคำนวณเพื่อให้ได้เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเพดานบินใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการวัด โดยความหนาที่ทำให้เส้นโค้งทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดคือชั้นซิลิกอนหนา 0.57 นาโนเมตรและ DLC หนา 71 นาโนเมตร โดยรูปที่ 11 แสดงให้เห็นว่าภายหลังจากปรับความหนาทำให้ข้อมูลทั้งสองสอดคล้องกันมาก จึงเป็นไปได้ว่าความหนาที่แท้จริงของซิลิกอนและ DLC คือ 0.57 และ 71 นาโนเมตรตามลำดับ ซึ่งหมายความว่าชั้น DLC และซิลิกอนมีความคลาดเคลื่อนของความหนาในการสร้างที่ประมาณ 7.7 และ 43%ตามลำดับ เหตุผลที่ความหนาของชั้นซิลิกอนมีความคลาดเคลื่อนสูงมาก นั้นอาจจะมาจากการที่ทางคณะวิจัยไม่ได้ทำการวัดอัตราการปลูกฟิล์มซิลิกอนโดยละเอียดหากแต่



รูปที่ 10 เส้นโค้งความเข้มแสงซึ่งเป็นฟังก์ชันของเพดานบินที่ได้จากการคำนวณของดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม 2 ชั้นที่มีความหนาซิลิกอน 1 นาโนเมตรและ DLC 77 นาโนเมตร โดยที่เส้นโค้งความเข้มแสงที่ได้จากการคำนวณของงานแก้วแสดงด้วยเส้นประ และจุดดาวแสดงถึงข้อมูลที่ได้จากการวัด ใช้ข้อมูลอัตราการปลูกฟิล์มที่ทางบริษัทได้ทำการวัดไว้ เนื่องจากชั้นฟิล์มนี้บางมากและความคลาดเคลื่อนของความหนาไม่มีผลกับความไวอย่างมีนัยสำคัญดังแสดงในผลการคำนวณในรูปที่ 7

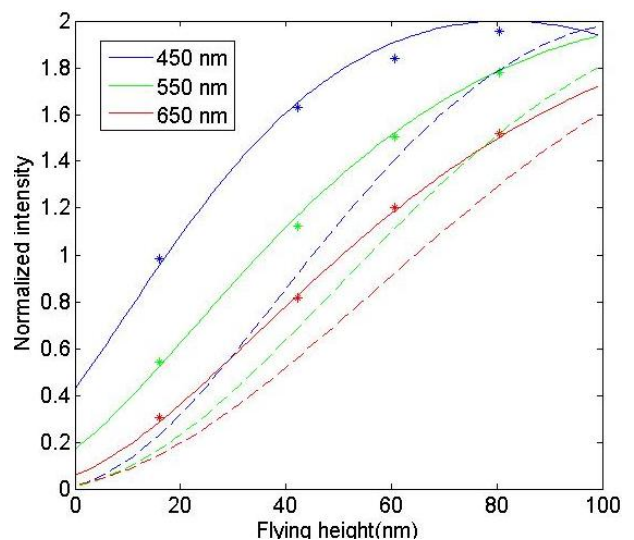
จากผลการปรับเปลี่ยนความหนาของชั้นซิลิกอน และ DLC ตามที่กล่าวไปแล้วซึ่งทำให้ผลการทดลอง กับผลคำนวณทางทฤษฎีใกล้เคียงกันมากดังแสดงใน รูปที่ 11 ทำให้น่าเชื่อว่าความหนาที่แท้จริงของชั้น ซิลิกอนและ DLC คือ 0.57, 71 นาโนเมตรตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาความไวในการวัดตามตำแหน่ง เพดานบินที่กำหนดแล้วพบว่าความไวในการวัด สามารถเพิ่มขึ้นได้จากงานแก้ว 16.64% และในกรณีที่ พิจารณาที่เพดานบินต่ำๆ (0, 10 และ 20 นาโนเมตร) ความไวในการวัดสามารถเพิ่มขึ้นได้ถึง 55.44%



รูปที่ 11 เส้นโค้งความเข้มแสงซึ่งเป็นฟังก์ชันของ เพดานบินที่ได้จากการคำนวณของดิสก์ที่เคลือบด้วย ฟิล์ม 2 ชั้นที่มีความหนาซิลิกอน 0.57 นาโนเมตรและ DLC 71 นาโนเมตร โดยที่เส้นโค้งความเข้มแสงที่ได้ จากการคำนวณของงานแก้วแสดงด้วยเส้นประ และ จุดดาวแสดงถึงข้อมูลที่ได้จากการวัด

ในกรณีของดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม 4 ชั้นซึ่งมี ความหนาของแต่ละชั้นดังนี้ Si_1 : 1, DLC_1 : 55, Si_2 : 3 และ DLC_2 : 25 นาโนเมตร ทั้งนี้ในการปลูกฟิล์มได้ ปรับใช้อัตราการปลูกฟิล์มที่ได้จากการวิเคราะห์ใน กรณีของดิสก์ที่เคลือบด้วยฟิล์ม 2 ชั้น จากผลการ ทดสอบพบว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดและการคำนวณมี ความสอดคล้องกันเป็นอย่างมากดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 12 แสดงว่าความหนาของฟิล์มที่สร้างกับความหนาที่

ต้องการนั้นใกล้เคียงกันมาก จากรูปยังแสดงให้เห็นว่า ความชันของเส้นโค้งความเข้มแสงทั้ง 3 ความยาว คลื่นนั้นมากกว่างานแก้วอย่างชัดเจนโดยเมื่อพิจารณา ความไวในการวัดตามตำแหน่งเพดานบินที่กำหนด แล้วพบว่าความไวในการวัดสามารถเพิ่มขึ้นจากงาน แก้ว 23 % และในกรณีที่พิจารณาที่เพดานบินต่ำๆ ความไวในการวัดเพิ่มขึ้นได้ถึง 85.16 %



รูปที่ 12 เส้นโค้งความเข้มแสงซึ่งเป็นฟังก์ชันของ เพดานบินที่ได้จากการคำนวณของดิสก์ที่เคลือบด้วย ฟิล์ม 4 ชั้นที่มีความหนา ดังนี้ Si_1 : 1, DLC_1 : 55, Si_2 : 3 และ DLC_2 : 25 นาโนเมตร โดยที่เส้นโค้งความเข้ม แสงที่ได้จากการคำนวณของงานแก้วแสดงด้วย เส้นประ และจุดดาวแสดงถึงข้อมูลที่ได้จากการวัด

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางในการการปรับปรุง ความทนทานของงานแก้วในเครื่องวัดเพดานบิน นอกจากนี้ยังได้แสดงให้เห็นว่าดิสก์ที่พัฒนาขึ้น สามารถเพิ่มความไวในการวัดเพดานบินของหัวอ่าน/ เขียนได้อย่างมีนัยสำคัญอีกด้วย จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าการเคลือบผิวงานแก้วด้วยซิลิกอน และ DLC ที่มีความหนา 3 และ 15 นาโนเมตร ตามลำดับสามารถทำให้การสึกหรอของงานแก้วลดลง ได้ถึง 92% และจากการทดสอบอายุการใช้งานพบว่า ดิสก์พัฒนาขึ้นสามารถมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้นได้จาก

งานแกว้อย่างน้อย 30 เท่า ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบเป็นค่าใช้จ่ายในส่วนของการงานแกวที่ใช้ในกระบวนการวัดเพดานบินแล้วพบว่าค่าใช้จ่ายสามารถลดลงได้ถึง 96% ในส่วนการพัฒนาดีสก์ที่มีความไวในการวัดเพดานบินสูงพบว่าในช่วงเพดานบินต่ำๆ ดีสก์ที่พัฒนาขึ้นมีความไวในการวัดเพดานเพิ่มขึ้นถึง 85.16 % เมื่อเปรียบเทียบกับงานแกวแนวทางที่คณะวิจัยเสนอสามารถลดต้นทุนในส่วนของการงานแกวในกระบวนการวัดเพดานบิน นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มความไวในการวัดเพดานบินที่เพดานบินต่ำๆ อันเป็นการลดความจำเป็นในการสั่งซื้อเครื่องมือวัดประเภทใหม่ได้อีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทเวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูล, อุปกรณ์ และอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัย งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านการผลิตขั้นสูงในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และทุนสนับสนุนภายใต้แผนปฏิบัติการไทยเข้มแข็ง 2555 โครงการ Green Engineering for Green Society คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Phetdee, K., Pimpin, A., and Srituravanich, W., Investigation of Wear Resistance and Lifetime of Diamond-Like-Carbon (DLC) Coated Glass Disk in Flying Height Measurement Process. *Microsystem Technologies*, 17 (2011): 1373-1379.
- [2] Liu, X., Clegg, W., Liu, B., Polarisation interferometry flying height testing. *Optics & Laser Technology* 37 (2004): 21-27.
- [3] Zhu, Y., Flying height measurement considering the effects of the slider-disk interaction. *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*, VOL 36, NO 5 (2000): 2677-2679.
- [4] Lacey, C., Shelor, R., Cormier, A.J., Talke, F.E., Interferometric measurement of disk/slider spacing: the effect of phase shift on reflection. *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*, VOL 29, NO 6 (1993): 3906-3908.
- [5] Liu, X., Clegg, W., Liu, B., Chong, C., Improved Intensity Interferometry Method for measuring Head-disk spacing down contact. *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*, VOL 36, NO 5 (2000): 2674-2676.
- [6] Ye, H.Y., Jiang, Y., Liu, B., Mamun, A.A., Consideration and compensation of calibration falloff for optical flying height measurement. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 303 (2006): e91-e96.
- [7] Kawakubo, Y., Miyazawa, S., Nagata, K., Kobarake, S., Wear life prediction of contact recording head. *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS* VOL 39, NO 2 (2003): 888-892.
- [8] Kawakubo, Y., Miyazawa, S., Kobayashi, K., Kobatake, S., Nakazawa, S., Disk burnishing for head-wear reduction studied by pin-on-disk tests. *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS* VOL 41, NO 2 (2005): 802-807.
- [9] Brushan, B., Gupta, B.K., Michael, H., Azarian., Nanoindentation, microscratch, friction, and wear studies of coatings for contact recording applications. *Wear* 181-183 (1995): 743-758.
- [10] Bhushan, B., Chemical, mechanical and tribological characterization of ultra-thin and hard amorphous carbon coatings as thin as 3.5 nm: recent developments. *Diamond and Related Material* 8 (1999): 1985-2015.
- [11] Sundararajan, S., Bhushan, B., Micro/nanotribology of ultra-thin hard amorphous

carbon coating using atomic force/friction force microscopy. *Wear* 225-229 (1999): 678-689.

- [12] Takai, O., Tajima, N., Saze, H., Sugimura, H., Nanoindentation studies on amorphous carbon nitride thin films prepared by shielded arc ion plating. *Surface and Coating Technology* 142-144 (2001): 719-723.
- [13] Daniels, B.K., Brown, D.W., Kimock, F.M., Friction and wear performance of diamond-like carbon, boron carbide, and titanium carbide coatings against glass. *Materials Research* Vol. 12, No 9 (1997): 2485-2492.
- [14] Bai, M., Kato, K., Umehara, N., Miyake, Y., Xu, J., Yokisue, H. Scratch-wear resistance of nanoscale super thin carbon nitride overcoat evaluated by AFM with diamond tip. *Surface and Coatings Technology* 126 (2000): 181-194.
- [15] Hainsworth, S.V., Uhure, N.J., Diamond like carbon coatings for tribology: production techniques, characterization methods and applications. *International Material Reviews* VOL 52 NO 3 (2007): 153-174.
- [16] Mitsuya, Y., Kawamoto, Y., Zhang, H., Oka, H., Head-disk spacing measurement using Michelson laser interferometry as observed through glass disk. *Transactions of the ASME* Vol. 126 (2004): 360-366.
- [17] Fujiwara, H., 2007. Spectroscopic Ellipsometry Principle and Application. John Wiley & Sons.
- [18] Mitsuya, Y., Kawamoto, Y., Zhang, H., Oka, H., Head-disk spacing measurement using Michelson laser interferometry as observed through glass disk. *Transactions of the ASME* Vol. 126 (2004): 360-366.