ณภูมิ ธูปพนม : การถ่ายภาพสนามแม่เหล็กด้วยควอนตัมเซนเซอร์เพชร (VECTOR MAGNETIC FIELD IMAGING WITH QUANTUM DIAMOND SENSOR) อาจารย์ที่ปรึกษา: อาจารย์ ดร. สรวิศ แสงทวีสิน, 48 หน้า

คำสำคัญ: การตรวจจับทางควอนตัม, ตำแหน่งไนโตรเจนที่ว่าง, การตรวจจับสนามแม่เหล็ก

เซนเซอร์ตรวจวัดสนามแม่เหล็กถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในระบบขนส่ง การสื่อสาร และระบบนำทาง อย่างไรก็ตาม เซนเซอร์ดังกล่าวยังคงมีข้อจำกัดในด้านทิศทางของสนามแม่เหล็กที่สามารถตรวจจับได้ และความไวต่อสนามแม่เหล็กความเข้มต่ำ การตรวจจับทางควอนตัม โดยเฉพาะเทคนิคที่อาศัยศูนย์ตำแหน่งไนโตรเจนว่าง (Nitrogen Vacancy: NV center) ในเพชร สามารถช่วยลดข้อจำกัดดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดย NV center ซึ่งเป็นตำหนิชนิดหนึ่งในโครงสร้างของเพชร มีสมบัติในการตรวจวัดสนามแม่เหล็กได้อย่างแม่นยำภายใต้สภาวะแวดล้อมปกติ จึงเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้งานด้านการตรวจวัดหลากหลายรูปแบบ

งานวิจัยนี้นำ NV center มาใช้ในการตรวจวัดสนามแม่เหล็กเชิงเวกเตอร์ (Vector Magnetometry) และการสร้างแผนที่ของสนามแม่เหล็กที่ไม่ทราบค่า โดยจำลองสถานการณ์ที่มีแม่เหล็กเคลื่อนที่อยู่เหนือพื้นผิวของเพชร การทดลองทั้งสองส่วนใช้ลำดับการตรวจวัดเรโซแนนซ์แม่เหล็กที่ตรวจจับด้วยแสง (Optically Detected Magnetic Resonance: ODMR) ในการตรวจจับสัญญาณ วิธีการทดลองอาศัยโปรแกรมสแกนความถี่ที่มีความละเอียด 26 เมกะเฮิรตซ์ โดยใช้เวลา 5 วินาทีต่อข้อมูล 200 จุด และใช้ของ Quantum Diamond Sensor (QDS) ตามที่ Bucher และคณะ (2019) ได้เสนอไว้การคำนวณสนามแม่เหล็กดำเนินการโดยอิงจาก Hamiltonian ของ NV center เพื่อนำมาวิเคราะห์ขนาดและทิศทางของสนามแม่เหล็กจากสัญญาณ ODMR ซึ่งค่าความเข้มที่ได้แสดงถึงอิทธิพลของสนามแม่เหล็กที่กระทำต่อแกนของ NV center แต่ละทิศทาง ในขณะที่ข้อมูลทิศทางบ่งชี้ถึงมุมระหว่างสนามแม่เหล็กกับแกนของ NV center แต่ละแกน วิธีการดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นทิศทางของสนามแม่เหล็กได้โดยการสร้างพื้นผิวตามแนวแกนของ NV center ซึ่งจุดตัดของพื้นผิวเหล่านี้สะท้อนถึงทิศทางของสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่งของ NV center

ในการวิเคราะห์สนามแม่เหล็กเชิงเวกเตอร์นั้นไม่เพียงแต่สามารถคำนวณขนาดและทิศทางของสนามแม่เหล็กได้เท่านั้น แต่ยังสามารถแยกความแตกต่างของสัญญาณ ODMR ที่มีรูปแบบใกล้เคียงกันได้ถึงสองกรณี รวมถึงสามารถแยกความแตกต่างของมุมเล็ก ๆ ของสัญญาณ ODMR ได้อีกสองกรณี สำหรับการทดลองสร้างแผนที่สนามแม่เหล็กที่ความสูง 1.7 เซนติเมตรเหนือพื้นผิวเพชรในทิศเหนือ พบว่าสามารถแสดงภาพสนามแม่เหล็กเชิงเวกเตอร์และสนามแม่เหล็กเชิง gradient ใน

ทิศ x, y และ z บนระนาบ xy ได้อย่างชัดเจน โดยผลลัพธ์สอดคล้องกับการกระจายของสนามแม่เหล็กตามทฤษฎี นอกจากนี้ยังมีการศึกษาสนามแม่เหล็กในระดับความสูงที่แตกต่างกันสามตำแหน่งเหนือพื้นผิวเพชร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กในแต่ละระดับ โดย gradient ของสนามแม่เหล็กในทิศ x และ y มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่สนามแม่เหล็กในทิศ z มีความเข้มเพิ่มขึ้นบริเวณศูนย์กลาง แต่กลับลดลงอย่างชัดเจนบริเวณโดยรอบ อันเป็นผลจากการพลิกทิศของสนามแม่เหล็กไปยังทิศทางของขั้วใต้ นอกจากนี้ ยังมีการแสดงภาพเวกเตอร์ของสนามแม่เหล็กในระนาบ xz และ yz ซึ่งให้ผลลัพธ์สอดคล้องกับข้อมูลจากการทดลองก่อนหน้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2567

ลายมือชื่อนักศึกษา ณภู มิ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

NAPOOM THOOPPANOM : VECTOR MAGNETIC FIELD IMAGING WITH QUANTUM DIAMOND SENSOR. THESIS ADVISOR : SORAWIS SANGTAWESIN, PhD. 48 PP.

Keywords: quantum sensing, NV center, magnetic field sensing

Magnetic field sensors are frequently used in transportation, communication, and navigation applications. The constraints of the sensors are the direction of the magnetic field and low magnetic field strength. Quantum sensing, especially those utilizing nitrogen vacancy (NV) centers in diamonds, can overcome the constraints. The NV center, a defect in diamond, is an efficient sensor for magnetic fields and functions under ambient conditions, providing it to be suitable for many sensing applications.

This thesis uses the NV center for vector magnetometry and the mapping of unknown magnetic fields, with a moving magnet perspective above the diamond. Both experiments employ optically detected magnetic resonance (ODMR) sequences for signal detection. Their methodology employs a sweep program with a resolution of 26 MHz, scanning at a rate of 5 seconds for every 200 data points, and utilizes a Quantum Diamond Sensor (QDS) configuration as described by Bucher et al. (2019). Magnetic field calculations are obtained from the NV center Hamiltonian to compute the amplitude and orientation of the magnetic field based on the ODMR signal. The computed magnitude indicates the magnetic field influencing each NV axis, while the orientation indicates the calculation of the angle between the magnetic field and each NV axis. This method enables the viewing of magnetic field direction by generating surfaces along the NV axes, which correspond to the magnetic field orientation at the NV center through their intersections with the surfaces.

For vector magnetometry, the analysis not only computes the magnitude and direction of the magnetic field but also distinguishes 2 differences between similar ODMR signal shapes and 2 small angles of ODMR signal. In the mapping experiment above the diamond 1.7 cm in the north pole direction, the vector field and gradient field in the x, y, and z directions are visualized on the xy plane, showing good agreement with the theoretical magnetic field distribution. Additionally, the NV center

examines the magnetic field at three different heights above the diamond, illustrating magnetic field changes at each level. As a result, the magnetic field gradient in the x and y directions increases significantly, whereas the magnetic field in the z direction increases at the center area but decreases considerably around the center due to flipping direction to the south pole. In addition, there are vector magnetic field visualizations in the xz and yz planes, which is consistent with previous results.

School of Physics

Academic Year 2024

Student's signature ณฤมิ

Advisor's signature