รัชฎาภรณ์ ทรัพย์เรืองเนตร : โครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ของฟิล์มนิกเกิลบนทองแดงระนาบ (001) ศึกษาโดยเทคนิคโฟโตอิมิชชันสเปกโทรสโกปีแบบแยกแยะเชิงมุม (ELECTRONIC STRUCTURES OF Ni FILMS ON Cu(001) STUDIED BY ANGLE-RESOLVED PHOTOEMISSION SPECTROSCOPY) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ประยูร ส่งสิริฤทธิกุล, 176 หน้า.

ในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาถึงที่มาทางอิเล็กทรอนิกส์ในการเกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางของแม่เหล็กในฟิล์มบางนิกเกิลที่ปลูกแบบอิพิแทกซีบนทองแดงระนาบ (001) โดยแมกเนติกแอนไอโซทรอปีนี้จะขึ้นกับความหนาของแผ่นฟิล์ม ซึ่งทิศทางของแม่เหล็กปกติชี้อยู่ในทิศทางที่ขนานกับพื้นผิวของแผ่นฟิล์มจะเปลี่ยนไปอยู่ในทิศที่ตั้งฉากกับพื้นผิวของแผ่นฟิล์มที่ความหนาประมาณ 7 ชั้นอะตอม และเปลี่ยนจากทิศทางที่ตั้งฉากกับพื้นผิวกลับไปอยู่ในทิศทางที่ขนานกับพื้นผิวของแผ่นฟิล์มที่ความหนาประมาณ 40 ชั้นอะตอม เนื่องจากการศึกษาพฤติกรรมในการเปลี่ยนแปลงทิศทางของแม่เหล็กนี้มีความสำคัญในการพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลที่มีความจุสูง และสร้างความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับวัสดุทางแม่เหล็กที่มีความบางมาก ๆ ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเชิงทฤษฎีถึงความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางอะตอมและโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ต่อการเกิดแมกเนติกแอนไอโซทรอปีนี้ว่าเกี่ยวข้องกับอันตรกิริยาระหว่างสปินและวงโคจรของอิเล็กตรอน โดยมีการสังเกตว่าที่บริเวณพื้นผิวและรอยต่อระหว่างแผ่นฟิล์มที่ปลูกบนแผ่นฐานที่เป็นวัสดุต่างชนิดกันจะเกิดการบิดเบี้ยวของแลตทิซ และโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์จะเปลี่ยนรูปไปจากเดิมที่มีลักษณะคล้ายทรงกลม ในเชิงทฤษฎีออร์บิทัลโมเลกุล วงโคจรที่อิเล็กตรอนสามารถอยู่ได้จะขึ้นกับทิศทางการเปลี่ยนของโครงสร้างทางอะตอม ซึ่งจะมีผลต่อแมกเนติกแอนไอโซทรอปีเนื่องจากสปินของอิเล็กตรอนส่วนมากจะมีทิศที่ตั้งฉากกับพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม ถึงแม้จะมีการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างทางแม่เหล็กที่ขึ้นกับความหนาของแผ่นฟิล์มมาเป็นจำนวนมากแล้ว แต่การอธิบายถึงที่มาในการเกิดแมกนิติกแอนไอโซทรอปีในทางโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ยังไม่มีการระบุแน่ชัด ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ศึกษาว่าเมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นฟิล์มแล้วโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์และสมมาตรของวงโคจรอิเล็กตรอนจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแมกเนติกแอนไอโซทรอปีอย่างไร โดยเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาคือเทคนิคโฟโตอิมิชชันสเปกโทรสโกปีแบบแยกแยะเชิงมุมร่วมกับการคำนวณโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์แบบเฟิสต์พรินซิเพิล โดยการศึกษานี้จะใช้ข้อดีจากเทคนิคโฟโตอิมิชชันที่สามารถแยกแยะโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ของอิเล็กตรอนจากวงโคจรต่าง ๆ ในโลหะนิกเกิลได้ การแยกแยะนี้สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนมุม

ตกกระทบของแสงที่มีโพราไรซ์แบบเส้นตรง และวิธีนี้ยังสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของสเปกตรัมที่สถานะต่าง ๆ กันได้อีกด้วย เมื่อเริ่มปลูกฟิล์มนิกเกิลบนผิวทองแดงระนาบ (001) พบว่าระดับพลังงาน $3d$ ของนิกเกิลจะอยู่ใกล้กับระดับพลังงาน $4s$ ของทองแดง ซึ่งในการศึกษาโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ของพื้นผิวในทิศทางโมเมนตัม $\overline{\Gamma}$-$\overline{\Delta}$-$\overline{\mathrm{X}}$ พบว่าฟิล์มนิกเกิลในช่วงความหนา 0.5 จนถึง 20 ชั้นอะตอมนั้น ระดับพลังงานที่มีวงโคจรอิเล็กตรอนในแบบ d_{z^2} จะค่อย ๆ เลื่อนตำแหน่งไปในทิศทางที่มีค่าพลังงานยึดเหนี่ยวลดลง แต่ถ้าความหนาของแผ่นฟิล์มมีค่ามากกว่า 6.6 ชั้นอะตอม ระดับพลังงานที่มีวงโคจรอิเล็กตรอนแบบ $d_{x^2-y^2}$ จะค่อย ๆ เลื่อนไปในทิศทางที่มีค่าพลังงานยึดเหนี่ยวสูงขึ้น ในช่วงความหนาของแผ่นฟิล์มระหว่าง 6.6 ถึง 20 ชั้นอะตอมนี้ ทั้งการเพิ่มจำนวนของอิเล็กตรอนในวงโคจรอิเล็กตรอนในแบบ $d_{x^2-y^2}$ และการลดจำนวนของอิเล็กตรอนในวงโคจรแบบ d_{z^2} มีส่วนทำให้เกิดสภาวะของแม่เหล็กในแนวตั้งฉากกับผิวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการคำนวณโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์แบบเฟิรต์พรินซิเพิลในฟิล์มที่มีความหนาระหว่าง 1 ถึง 7 ชั้นอะตอม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาฟิสิกส์ ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2553 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม_____

RATCHADAPORN SUPRUANGNET : ELECTRONIC STRUCTURES OF Ni FILMS ON Cu(001) STUDIED BY ANGLE-RESOLVED PHOTOEMISSION SPECTROSCOPY. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PRAYOON SONGSIRIRITTHIGUL, Ph.D. 176 PP.

Ni/THIN FILM/ANGLE-RESOLVED PHOTOEMISSION SPECTROSCOPY/SURFACE ENERGY BAND DISPERSION/PERPENDICULAR MAGNETIC ANISOTROPY

This thesis reports the electronic origin of magnetic anisotropy transition in thin nickel films epitaxially grown on Cu(001). The magnetic anisotropy strongly depends on the film thickness and rotates from the "usual" in-plane magnetization to out-of-plane at about 7 ML and from out-of-plane to in-plane at about 40 ML. Since this behavior is of technological as well as of scientific relevance this study impacts on the advanced development of magnetic recording devices and fundamental understanding on low-dimensional magnetic materials. The origin of the magnetic anisotropy has been analyzed in the framework of the spin-orbit interaction leading to the correlation between the lattice and electronic structures. As observed in films grown on heterogeneous substrates, the lattice distortion takes place in the surface and interface, and the electronic structures deforms from the usual spherical shape. In terms of molecular orbit theory, the electron orbit occupancy depends on the direction of lattice distortions, and influences on the magnetic anisotropy favoring the spins into the perpendicular to the dominated orbital plane. Even though the macroscopic lattice and magnetic structures upon the film thickness have been investigated well,

the microscopic origin based on electronic structures was not clarified. In this study, angle-resolved photoemission spectroscopy (ARPES) and first-principles energy-band calculation were performed to analyze how the energy band structure and its symmetry contribute to the magnetic anisotropy transition as the film grows. The main idea behind spectroscopic experiment is to take advantage of the photoemission matrix elements in order to disentangle the various *d*-orbitals contributing to the photoemission spectra from nickel. The matrix elements are exploited by changing the incident angle of the linearly polarized light and thereby lead to the relative intensities and spectral profiles for the different states. As the Ni film grows, Ni 3*d* bands are formed near the Fermi level in the range of the Cu 4*s* bands. In the surface band dispersions measured along the $\bar{\Gamma}$-$\bar{\Delta}$-$\bar{X}$ plane, one band with d_{z^2} orbital character evolves with a small shift to low binding energy up to 20 ML, while the other band with $d_{x^2-y^2}$ orbital character gradually forms with a shift to high binding energy above 6.6 ML. Both an increase of the $d_{x^2-y^2}$ and a decrease of the d_{z^2} band fillings in the Ni thickness range between 6.6 and 20 ML contribute to reinforce the perpendicular magnetic anisotropy, which are partly backed up by a first-principles energy band calculation.

School of Physics

Academic Year 2010

Student's Signature_____

Advisor's Signature_____

Co-advisor's Signature_____