อารีรัตน์ ดาวงษา : การศึกษาเชิงทฤษฎีของสเปกตรัมทะลุผ่านของรอยต่อของโลหะ-ตัวนำยวดยิ่ง-โลหะ (THEORETICAL STUDY OF TUNNELING SPECTROSCOPY OF METAL-SUPERCONDUCTOR-METAL JUNCTIONS)
อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.พวงรัตน์ ไพเราะ, 37 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาเชิงทฤษฎีของสเปกตรัมทะลุผ่านของรอยต่อโลหะ-ตัวนำยวดยิ่ง-โลหะในสองมิติ ในการศึกษานี้ได้พิจารณาตัวนำยวดยิ่งแบบเอส-เวฟ (ไอโซทรอปิก) และแบบดี-เวฟ (แอนไอโซทรอปิก) โดยใช้วิธีการกระเจิงในการคำนวณหาค่าสภาพความนำไฟฟ้าที่เป็นฟังก์ชันของความต่างศักย์ตกคร่อมระบบที่อุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ สมบัติที่แปรเปลี่ยนได้หลายตัวซึ่งมีผลต่อสเปกตรัมของสภาพความนำไฟฟ้าจะถูกศึกษา ซึ่งรวมไปถึงปัจจัยดังต่อไปนี้ คือ ผลของความหนาของชั้นตัวนำยวดยิ่ง ความสูงของพลังงานของกำแพงศักย์ที่บริเวณรอยต่อทั้งสอง และผลของการวางตัวของผลึกของตัวนำยวดยิ่งเทียบกับรอยต่อ

ความหนาของชั้นตัวนำยวดยิ่งเป็นตัวควบคุมขนาดของค่าสภาพความนำไฟฟ้าในลักษณะที่เห็นได้เด่นชัดซึ่งเป็นที่เข้าใจเป็นอย่างดี เนื่องจากการแทรกสอดของคลื่นจากขอบเขตของรอยต่อทั้งสองข้างของชั้นตัวนำยวดยิ่ง ซึ่งการแกว่งกวัดของสภาพความนำไฟฟ้านี้จะขึ้นกับชั้นของความหนา ซึ่งเรียกว่า การแกว่งกวัดแบบโทมัส

ในคำนวณสเปกตรัมสภาพนำไฟฟ้าของเรา เราทำซ้ำการแกว่งกวัดแบบโทมัสและเราเน้นที่จะระบุว่าผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของพลังงานของกำแพงศักย์ที่บริเวณรอยต่อทั้งสองมีผลอย่างไรต่อการกวัดแกว่งโทมัส เราระบุได้ว่าทั้งและลักษณะเชิงคุณภาพของสภาพความนำไฟฟ้ารวมทั้งการกวัดแกว่งโทมัสขึ้นอยู่กับความสูงของกำแพงศักย์บริเวณรอยต่อด้านซ้ายมือและขวามือ (ในการศึกษานี้ พาหะประจุบวกจะเห็นกำแพงศักย์ทางด้านซ้ายมือสูงกว่าเมื่อมีการให้ความต่างศักย์เป็นบวก) อิเล็กตรอนถูกยิงเข้าไปในตัวนำยวดยิ่งจากโลหะทางด้านซ้ายมือ ในขณะที่โฮลถูกยิงจากโลหะทางด้านขวามือ (พาหะประจุตรงกันข้ามจะต้องถูกยิงออกมาในเวลาเดียวกันเข้าสู่ตัวนำยวดยิ่งเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์ของกระแสไฟฟ้า) ด้วยเหตุนี้กำแพงศักย์ด้านซ้ายมือจึงสะท้อนอิเล็กตรอนออกมาส่วนทางด้านขวามือของรอยต่อจึงสะท้อนโฮลออกมา

หนึ่งในผลการศึกษาที่สำคัญอย่างหนึ่งในงานวิจัยนี้คือ ความสำคัญเชิงสัมพัทธ์ของความสูงกำแพงศักย์เปลี่ยนแปลงไปกับค่าความต่างศักย์ตกคร่อมระบบ ทั้งกรณีของตัวนำยวดยิ่งแบบเอส-เวฟ และแบบดี-เวฟ เราพบว่ากำแพงศักย์ด้านซ้าย (อิเล็กตรอน) มีอิทธิพลต่อสภาพความนำไฟฟ้าตลอดช่วงของความต่างศักย์ตกคร่อม ในขณะที่กำแพงศักย์ทางด้านขวามือ (โฮล)

มีผลกระทบต่อสภาพความนำไฟฟ้าเมื่อความต่างศักย์ตกคร่อมมีค่ามากกว่าช่องว่างพลังงานสูงสุดของตัวนำยวดยิ่ง

แอนไอโซทรอปีของตัวนำยวดยิ่งแบบดี-เวฟ ทำให้รอยต่อโลหะ-ตัวนำยวดยิ่ง-โลหะที่มีตัวนำยิ่งยวดแบบดีเวฟเป็นส่วนประกอบมีความไวต่อทิศทางการวางตัวของผลึกตัวนำยิ่งยวด ลักษณะของสเปกตรัมของสภาพความนำไฟฟ้าสะท้อนความเป็นแอนไอโซทรอปิกของค่าช่องว่างพลังงาน ตัวอย่างเช่น ยอดสูงที่ค่าความต่างศักย์ตกคร่อมมีค่าเป็นศูนย์ในสเปกตรัมสภาพความนำไฟฟ้าเกิดขึ้นเมื่อทิศทางของโมเมนตัมของช่องว่างพลังงานต่ำสุดขนานกับทิศที่ตั้งฉากผิวรอยต่อ ความสูงและความกว้างของยอดมีค่าลดลงเมื่อผลึกมีทิศทางการหมุนการวางตัวดังกล่าว และหายไปอย่างสมบูรณ์เมื่อทิศทางของค่าช่องว่างพลังงานที่สูงสุดตรงกับทิศที่ตั้งฉากกับระนาบของรอยต่อ

สาขาวิชาฟิสิกส์ ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2552 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

AREERAT DAWONGSA : THEORETICAL STUDY OF TUNNELING SPECTROSCOPY OF METAL-SUPERCONDUCTOR-METAL JUNCTIONS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PUANGRATANA PAIROR, Ph.D. 37 PP.

THEORETICAL STUDY OF TUNNELING SPECTROSCOPY OF METAL-SUPERCONDUCTOR-METAL JUNCTIONS

This thesis is a theoretical study the tunneling spectroscopy of metal-superconductor-metal double junctions (MSM) composed of two dimensional electronic materials. In this study, we considered two types of superconductors: those having s-wave (i.e. isotropic) and d-wave (anisotropic) gap symmetries. The zero-temperature differential conductance was calculated by a scattering method. Several variable properties of junctions that affect the conductance spectrum have been studied. These include: the thickness of superconducting layer, the barrier height at both interfaces and the superconducting crystal orientation relative to the interface.

The thickness of the superconducting layer controls the magnitude of the conductance in a distinctive manner that is well understood. Because of the interference of waves scattered from the two boundaries of the superconducting layer, there is an oscillatory dependence of the conductance on the layer thickness, the so called Tomasch oscillations.

Having reproduced the Tomasch oscillations in our calculation, our focus was to determine how these oscillations are affected by a variation in the relative barrier heights at the two metal-superconductor interfaces. We determined that both the

magnitude of the conductance and the qualitative spectral features, including the Tomasch oscillations, depend on the left and right barrier heights. (In our convention, a positive charge carrier sees a higher potential at the left barrier when the applied voltage is positive.) Electrons are injected into the superconductor from the metal on the left while holes are injected from the metal on the right (opposite charge carriers must be simultaneously injected into the superconductor to ensure current conservation). Therefore the left barrier scatters incoming electrons while the right barrier scatters incoming holes.

One of the remarkable results of this thesis is that the relative importance of the two barriers changes with the applied voltage. In both s-wave and d-wave superconducting junctions, we found that the left (electron) barrier influences the conductance throughout the range of the applied voltage, whereas the right (hole) barrier only affects the conductance when the applied voltage is larger than the maximum gap.

The anisotropy of a d-wave superconductor makes MSM junctions involving it sensitive to crystal orientation. The qualitative spectral features of the conductance reflect this gap anisotropy. For example, a broad peak in the conductance at zero voltage occurs when the momentum direction of the gap minimum is parallel to the surface normal. The height and width of this peak decreases as the crystal is rotated away from this orientation and the peak vanishes completely when the interface normal coincides with the direction of the gap maximum.

School of Physics

Academic Year 2009

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____