สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ

รายงานผลโครงการวิจัย

ผลของการหมุนระนาบผลึก ต่อสเปกตรัมการทะลุผ่านที่รอยต่อของโลหะปกติ-ตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดแบบดี-เวฟ

The effect of orientation on the tunneling spectra of a normal metal-d wave superconductor junction

ลงทะเบียนวันที่ 11 ก.พ. 2552
เลขทะเบียน 099524
เลขหมู่ วพ TA ร๖ มิ๑๕ ผ
หัวเรื่อง สเปกตรัม

โดย

ดร. มรกต พุทธกาล
นางสาวสุกัญญา นิลม่วง
นายศราวุธ ใจเย็น
นายเป็นไท ปิ่นม่วง

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
(ได้รับเงินงบประมาณปี 2550 หมวดเงินอุดหนุน)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทฤษฎีเกี่ยวกับ สเปกโตรสโคปีการทะลุผ่านที่รอยต่อ ระหว่างโลหะปกติ-ตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดแบบดีเวฟ ผลของการหมุนระนาบผลึกของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดมีผลอย่างไรต่อค่าความนำทะลุผ่านในภาวะนอร์มอลไลน์ เมื่อระนาบของผลึกตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดคือ $\{100\}$ และ $\{110\}$ ตามลำดับ ค่าความนำทะลุผ่านในภาวะนอร์มอลไลน์ ที่อุณหภูมิศูนย์เคลวิน เมื่อพลังงานของอนุภาคน้อยกว่าช่องว่างพลังงานสูงสุดมากๆ หาได้จากทฤษฎีของ บลอนเดอร์ ทิงค์แฮม คลับวิช ผลการศึกษาพบว่า สำหรับแบบจำลองแบบขั้น ค่าความนำทะลุผ่านในภาวะนอร์มอลไลน์ขึ้นกับแรงขวางกั้น โดยที่ระนาบ $\{100\}$ มียอดสูงสุดเกิดขึ้นตรงตำแหน่งที่พลังงานอนุภาคเท่ากับค่าช่องว่างพลังงานสูงสุดพอดีที่แรงขวางกั้นมีค่ามากๆ ส่วนที่ระนาบ $\{110\}$ มียอดสูงสุดเกิดขึ้นที่พลังงานอนุภาคเป็นศูนย์ โดยความสูงของยอดสูงสุดเป็นปฏิภาคโดยตรงกับค่าแรงขวางกั้น สำหรับกรณีแบบจำลองการลดลงของช่องว่างพลังงานที่รอยต่อ $\left(\Delta_{\max}^{x=0} = n\Delta_{\max}^{x}\right)$ ค่าความนำทะลุผ่านในภาวะนอร์มอลไลน์ขึ้นกับแรงขวางกั้นและปริมาณการลดลงของช่องว่างพลังงานที่รอยต่อ เมื่อช่องว่างพลังงานลดลงบางส่วน $\left(0 < n < 1\right)$ ค่าความนำทะลุผ่านมียอดสูงสุดที่ระดับพลังงานอนุภาคเป็นศูนย์ ทุกค่าแรงขวางกั้น โดยความสูงของยอดสูงสุดเป็นสัดส่วนตรงกับแรงขวางกั้น ยกเว้นกรณีที่ช่องว่างพลังงานลดลงโดยสมบูรณ์ที่รอยต่อ $\left(n = 0\right)$ ไม่มียอดสูงเกิดขึ้น

Abstract

This research is the theoretical study of the tunneling spectroscopy of the normal metal – d wave superconductor junction. How the $\{100\}$ and $\{110\}$ orientation effect on the normalized tunneling conductance at zero temperature and the energy of particle much less than the maximum gap. The studied is based on an extended Blonder-Tinkham-Klapwijk (BTK) theory. The result of study found that, for step function model, the normalized tunneling conductance of both orientation depend on the barrier strength, the higher barrier strength the higher peak at the particle energy is equal to the maximum gap for $\{100\}$ and the spectrum have peak at zero energy for $\{110\}$. For gap suppression model $\left(\Delta_{\max}^{x=0} = n\Delta_{\max}^{x}\right)$, the normalized tunneling conductance depend on the barrier strength and also depend with the degree of gap suppression. For some suppression $(0<n<1)$ the spectrum have peak at zero energy for all barrier strength except for total suppression $(n=0)$, the height of peak is proportional to the degree of barrier strength.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
สารบัญ III
สารบัญตาราง V
สารบัญรูปภาพ VI
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.1.1 การค้นพบและคุณสมบัติพื้นฐานของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด 1
1.1.2 การนำตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดไปใช้ประโยชน์ 6
1.1.3 ตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดอุณหภูมิ 9
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย 14
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย 14
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 14
2 สเปกโตรสโคปีการทะลุผ่านรอยต่อโลหะปกติ-ตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดแบบดีเวฟ โดยแบบจำลองแบบขั้น 15
2.1 บทนำ 15
2.2 ความน่าจะเป็นของการสะท้อนกลับและการทะลุผ่านรอยต่อ 17
2.3 กระแสไฟฟ้าและค่าความนำไฟฟ้าทะลุผ่านที่อุณหภูมิศูนย์เคลวิน 26
3 สเปกโตรสโคปีการทะลุผ่านที่รอยต่อโลหะปกติ-ตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดแบบดีเวฟ โดยแบบจำลองการลดลงของช่องว่างพลังงาน 29
3.1 บทนำ 29
3.2 ความน่าจะเป็นของการสะท้อนกลับและการทะลุผ่านรอยต่อ 29
3.3 กระแสไฟฟ้าและค่าความนำทะลุผ่านที่อุณหภูมิศูนย์เคลวิน 36
4 วิเคราะห์และอภิปรายผล 37

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
5	สรุปผล	48
	5.1 สรุปและวิจารณ์ผล	48
	5.2 ข้อเสนอแนะ	49
เอกสารอ้างอิง		50
ภาคผนวก ก BCS Theory		52
ภาคผนวก ข ช่องว่างพลังงานของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด		53

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงอุณหภูมิวิกฤตของธาตุต่างๆ	8
1.2	แสดงอุณหภูมิวิกฤตและความดันของธาตุ	8
1.3	แสดงสารประกอบที่เป็นตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด	9
1.4	อุณหภูมิวิกฤตของสารบางชนิดที่มีค่าสูง	10
1.5	ความยาวพร้อมเพรียงกับความลึกทะลุทะลวงที่ศูนย์องศาสัมบูรณ์	10

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพที่		หน้า
1.1	ลักษณะทั่วไปของโลหะปกติและตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด	2
1.2	ปรากฏการไมน์เนอร์	3
1.3	ไดอะแกรมแสดงสถานะของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิดที่ 1	4
1.4	ไดอะแกรมแสดงสถานะของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิดที่ 2	5
1.5	ลักษณะสมมาตรของฟังก์ชันช่องว่างพลังงานของตัวนำยิ่งยวด	11
1.6	ปรากฏการณ์ที่รอยต่อระหว่างโลหะปกติ-ตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด	12
2.1	แบบจำลองแบบขั้น (Step function model)	15
2.2	ความน่าจะเป็นที่เกิดขึ้นเมื่อมีอิเล็กตรอนหนึ่งตัวตกกระทบรอยต่อ	17
2.3	พลังงานของอนุภาคในโลหะปกติ และในตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด	18
2.4	รอยต่อระหว่างโลหะปกติ-โลหะปกติ	22
3.1	แบบจำลองการลดลงของช่องว่างพลังงานที่รอยต่อ (Gap suppression model)	30
3.2	ความน่าจะเป็นที่เกิดขึ้นที่ระดับพลังงานกระตุ้น (E)	31
4.1	ช่องว่างพลังงานในทิศทางทำมุมศูนย์และหนึ่งในสี่ของไพเรเดียนกับเวกเตอร์ตั้งฉาก	37
4.2	สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับและการทะลุผ่านรอยต่อระหว่างโลหะปกติ-ตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดแบบดีเวฟ ระนาบ $\{100\}(\alpha = 0)$, $\Delta_{max}^{0} = \Delta_{max}$, $\theta = \pi/6$, $z = 0, 0.5, 1$	38
4.3	สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับและการทะลุผ่านรอยต่อระหว่างโลหะปกติ- ตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดแบบดีเวฟ ระนาบ $\{110\}(\alpha = \pi/4)$, $\Delta_{max}^{0} = \Delta_{max}$, $\theta = \pi/6$, $z = 0.5, 1$	40
4.4	สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่รอยต่อระหว่างโลหะปกติ-ตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดแบบดีเวฟระนาบ $\{110\}$ $(\alpha = \pi/4)$, $\Delta_{max}^{0} = 0, 0.5\Delta_{max}$, $z = 1.5$	41
4.5	สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่รอยต่อระหว่างโลหะปกติ-ตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดแบบดีเวฟ ระนาบ $\{110\}$ $(\alpha = \pi/4)$ $\Delta_{max}^{0} = \Delta_{max}, 0.7\Delta_{max}, 0.5\Delta_{max}$, $z = 1.5$	42
4.6	ค่าความนำทะลุผ่านรอยต่อระหว่างโลหะปกติ-ตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดแบบดีเวฟ ระนาบ $\{100\}(\alpha = 0)$, $\Delta_{max}^{0} = \Delta_{max}$, $z = 0, 0.5, 1, 3$	43

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปภาพที่ **หน้า**

4.7 ค่าความนำทะลุผ่านรอยต่อระหว่างโลหะปกติ-ตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดแบบดีเวฟ ระนาบ $\{110\}(\alpha = \pi/4)$, $\Delta^0_{max} = \Delta_{max}$, $z = 0, 0.5, 1, 3$ 44

4.8 กราฟเปรียบเทียบค่าความนำทะลุผ่าน ระหว่างระนาบ $\{100\}, \{110\}$, $\Delta^0_{max} = \Delta_{max}$, $z = 1$ 44

4.9 ค่าความนำทะลุผ่านรอยต่อระหว่างโลหะปกติ-ตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดแบบดีเวฟ $\{110\}(\alpha = \pi/4)$, $\Delta^0_{max} = 0.5\Delta_{max}$, $z = 1, 2, 3$ 45

4.10 ค่าความนำทะลุผ่านรอยต่อระหว่างโลหะปกติ-ตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดแบบดีเวฟ $\{110\}(\alpha = \pi/4)$, $\Delta^0_{max} = 0$, $z = 1, 2, 3$ 46

4.11 ค่าความนำทะลุผ่านรอยต่อระหว่างโลหะปกติ-ตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดแบบดีเวฟ $\{110\}(\alpha = \pi/4)$, $\Delta^0_{max} = 0.7, 0.3, 0$, $z = 1.5$ 47