

第三回仁科アジア賞 (Nishina Asia Award)

He, Ke (何珂) 氏授賞理由

「量子異常ホール効果の初めての実験観測における傑出した貢献」

“For his outstanding contributions to the first experimental realization of the quantum anomalous Hall effect”

ホール効果とは、半導体や金属の電気伝導を磁場下で測定した場合に、電流および磁場に垂直な方向に電場（ホール電場）が生じる現象である。多くの磁性体では自発磁化が外部磁場の役割を果たすため、ゼロ磁場においてもホール効果が観測される。これを「異常ホール効果」という。一方、強磁場下の2次元電子系では、ホール伝導度が e^2/h の整数倍の量子化値をとる「量子ホール効果」という目覚ましい現象が知られている。今回の授賞対象となった「量子異常ホール効果」とは、異常ホール効果が量子化される現象であり、また別の言い方をすれば、量子異常ホール効果とは外部磁場無しで生じる量子ホール効果ということもできる。無磁場でエネルギー損失なく試料端に電流が生じる特性から、量子ホール効果を低エネルギー損失の電子デバイスに応用する上では欠かせない現象といえる。

この効果が理論的に予言されたのは1988年のことであるが、それ以来の多くの研究努力に関わらず、最近まで誰も観測に成功しなかった。Ke He博士は2009年以降、共同研究者とともに、量子異常ホール効果の実証を目指して、トポロジカル絶縁体の系統的な物質合成と電子状態の研究を進めてきた。He博士は分子線ビームエピタキシー (MBE) 法による薄膜作製、角度分解光電子分光、そして走査型トンネル分光の専門家であるが、このテーマの研究では主にトポロジカル絶縁体の物質合成とその電子状態の制御を担ってきた。He博士は代表的トポロジカル絶縁体であるBi₂Se₃系物質の薄膜作製を行い、組成、膜厚、結晶性の精密制御によって、遂に初めて3次元トポロジカル絶縁体の2次元表面電子構造の制御に成功した。またHe博士は量子異常ホール効果観測に適した磁性トポロジカル絶縁体物質を発見し、その磁性・バンド構造とトポロジカルな性質の関係性を明らかにした。これら一連の研究成果が、トポロジカル絶縁体の研究分野で最も顕著な成果の一つに挙げられる異常量子ホール効果の発見の下地となった。

2013年に遂にHe博士らは、磁性元素Crをドーピングしたトポロジカル絶縁体(Bi_xSb_{1-x})₂Te₃の超薄膜において量子異常ホール効果の観測に成功した。量子異常ホール効果の実現条件を満たすように、このような4元系の薄膜を精密に作製するのは極めて挑戦的な試みであり、この研究での最大の難関であった。したがって、この発見にHe博士の果たした役割は極めて重要と位置づけられる。この発見は外部磁場無しで量子ホール効果を観測するという25年間にわたる探求に終止符を打っただけでなく、トポロジカル絶縁体ならではの他の多くの新奇な量子現象の観測への道をも拓くものとなった。この研究成果は世界的にも最近の固体物理学におけるもっとも重要な実験的ブレイクスルーのひとつといえる。トポロジカル絶縁体の研究は世界的に著しい展開を見せているが、その中でアジアの研究グループによって真に世界をリードする発見が成されたもので、その中で主要な寄与を成したHe博士は、仁科アジア賞にまさにふさわしいといえる。

References

1. Zhang, Y.; He, K.; Chang, C.-Z.; Song, C.-L.; Wang, L.-L.; Chen, X.; Jia, J.-F.; Fang, Z.; Dai, X.; Shan, W.-Y.; Shen, S.-Q.; Niu, Q.; Qi, X.-L.; Zhang, S.-C.; Ma, X.-C.; Xue, Q.-K., “Crossover of the three-dimensional topological insulator Bi_2Se_3 to the two-dimensional limit”, *Nature Physics* **6**, 584 (2010).
2. Zhang, J.; Chang, C.-Z.; Tang, P.; Zhang, Z.; Feng, X.; Li, K.; Wang, L.-L.; Chen, X.; Liu, C.; Duan, W.; He, K.; Xue, Q.-K.; Ma, X.; Wang, Y., “Topology-driven magnetic quantum phase transition in topological insulators”, *Science* **339**, 1582 (2013).
3. Chang, C.-Z.; Zhang, J.; Feng, X.; Shen, J.; Zhang, Z.; Guo, M.; Li, K.; Ou, Y.; Wei, P.; Wang, L.-L.; Ji, Z.-Q.; Feng, Y.; Ji, S.; Chen, X.; Jia, J.; Dai, X.; Fang, Z.; Zhang, S.-C.; He, K.; Wang, Y.; Lu, L.; Ma, X.-C.; Xue, Q.-K., “Experimental observation of the quantum anomalous Hall effect in a magnetic topological insulator”, *Science* **340**, 167 (2013).