

V과 Mn이 도핑된 위상절연체의 물리적 성질 특성

최영하^{1*}, 조나현¹, 이규준¹, 장정원², 김진희², 정명화¹

¹서강대학교 물리학과

²한국표준과학연구원

위상절연체는 절연체적인 벌크 성질과 금속적인 표면성질 때문에 최근에 응집물질물리분야에서 주목받고 있다. 위상절연체는 2차원 물질에서 발견이 되었었지만, Zhang은 Bi_2Se_3 , Bi_2Te_3 , Sb_2Te_3 같은 3차원 물질을 제안하였다. 양자홀효과로 설명할 수 있는 이 위상절연체에 자성적 물질을 도핑시키면 표면에서의 갭이 열리는 현상이 발견되는데, 이러한 이론적 보고에 의해 도핑에 의한 물리적 성질변화를 관측하기 위해 Bi_2Se_3 물질에 대한 연구가 진행되고 있다. Bi_2Se_3 위상절연체는 이론적으로 V도핑에 의한 금속적 성질 변화가 예견되었고, 실험적으로 Mn도핑에 의한 전기적 및 자기적 성질의 일부가 관측되었다. 이런 관점에서 우리는 V, Mn이 초과도핑 ($\text{Tr}_x\text{Bi}_{2-x}\text{Se}_3$, $\text{Tr}=\text{V}$ and Mn) 되거나 치환도핑($\text{Tr}_x\text{Bi}_{1-x}\text{Se}_3$, $\text{Tr}=\text{V}$ and Mn)된 Bi_2Se_3 단결정체와 Se를 초과도핑시킨 $\text{Bi}_2\text{Se}_{3.5}$ 의 전기적 성질 및 자기적 성질에 관하여 연구해 보았다.

이전에 연구된 결과와 마찬가지로, $\text{Bi}_2\text{Se}_{3.5}$ 의 캐리어는 전자였으며, 홀 이동성은 상당히 높았다. 온도에 대한 비저항 특성 그래프 분석 결과 V은 이론논문에 보고된 바와 마찬가지로 금속적인 성질을 볼 수 있었고, 캐리어는 초과도핑된 경우와 치환도핑된 경우 모두 전자였다. 그러나 Mn이 치환도핑된 경우에는 70K 근처에서 절연체적인 특성을 보였는데, 이는 이 물질이 가진 정공 전하운반자와 연관이 있다고 생각된다. V과 Mn을 도핑한 경우 모두 초과도핑된 경우보다 치환도핑된 경우에 캐리어 밀도가 10배정도 더 컸는데, 이는 다시 말하면 홀 이동성은 치환도핑된 경우가 초과도핑된 경우보다 크다는 것을 의미한다. 자기적 특성 실험의 결과 V과 Mn이 도핑된 모든 단결정체에서 반강자성체 성질을 띠는 것을 “Curie-Weiss” fitting을 이용하여 알 수 있었다. Mn이 치환도핑된 경우 전기적 및 자기적 성질에서 다른 단결정체들에 비해 특이한 성질들이 발견 되었는데, 이에 대한 연구가 앞으로 필요할 것으로 보인다.