

氏 名 Name	杨 小帆		
授与した学位	博 士		
専攻分野の名称	理 学		
学位授与番号	博甲第	6 1 8 4	号
学位授与の日付	2 0 2 0 年 3 月 2 5 日		
学位授与の要件	自然科学研究科 地球生命物質科学専攻 (学位規則第 4 条第 1 項該当)		
学位論文の題目	Study on superconductivity of various types of new superconductors under pressure (圧力下での様々な種類の超伝導体の超伝導性に関する研究)		
論文審査委員	教授 久保園 芳博	准教授 後藤 秀徳	教授 横谷 尚睦
学位論文内容の要旨			
<p>Application of pressure is an efficient approach for tuning the superconducting transition temperatures, T_c's, of superconducting materials without any chemical modification. The approach may lead to the discovery of exotic superconducting materials, as well as the realization of high-T_c superconductors. Thus, a pursuit of superconducting phases by applying pressure for materials must be very attractive from viewpoint of both chemistry and physics. In this doctor thesis, the author aims at searching for new superconducting phases under pressure, in particular the phases with exotic superconducting behavior and high-T_c value by suitably employing the techniques of pressure application.</p> <p>In chapter 3, the superconducting behavior of a new binary-elements graphite, $\text{Ca}_x\text{Cs}_{1-x}\text{C}_y$, is reported under pressure. A clear positive pressure effect on T_c was obtained below 9.3 GPa, while the T_c value rapidly decreased with a further increase in pressure. The maximum T_c was 11.7 K at 9.3 GPa. The origin of such a dome-like $T_c - \text{pressure } (p)$ phase diagram was fully discussed. In chapter 4, the pressure dependence of superconductivity in a new topical iridate (Ir) superconductor, SrIr_2, is reported, in which Ir is a $5d$ transition metal with a strong spin orbit coupling (SOC). The T_c value monotonously decreased with an increase in pressure, implying a negative pressure effect on T_c. However, the onset superconducting transition temperature, T_c^{onset}, increased above ~ 8 GPa, indicating an upward turn of T_c^{onset} in high pressure range. The magnetic field, H, dependence of T_c recorded under pressure for SrIr_2 suggested that the superconducting pairing was explained by neither the s-wave clean nor dirty limit superconductivity, which may be consistent with an observation of the anomaly in $T_c^{\text{onset}} - p$ plot. In chapter 5, the author reports the pressure dependence of electrical transport in a new type of superconducting iridium silicide, Li_2IrSi_2. The T_c value smoothly decreased with increasing pressure up to 7.03 GPa, and it disappeared above 7.03 GPa. This work has not yet been completed but it is still in progress. In chapter 6, the author reports the superconducting behavior of $(\text{NH}_3)_y\text{Li}_x\text{FeSe}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$ under pressure. Two superconducting phases of $(\text{NH}_3)_y\text{Li}_x\text{FeSe}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$ were realized, which showed the T_c values as high as 20.2 and 29.5 K at ambient pressure, called as 'low-T_c phase' and 'high-T_c phase'. Two superconducting phases (SC-I and SC-II) were found for both the low-T_c and high-T_c phases under pressure, <i>i.e.</i>, a double-dome $T_c - p$ phase diagram was observed for each phase (low-T_c or high-T_c phase). Any structural phase transition was not observed for either the low-T_c or high-T_c phase of $(\text{NH}_3)_y\text{Li}_x\text{FeSe}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$ up to 15.3 GPa. The $T_c - \text{lattice constant } (c)$ plots for both phases were recorded to determine the critical point separating SC-I and SC-II. Throughout this doctor thesis, the superconducting behavior for three types of recent topical materials is fully reported under pressure. This study would become the significant step for generating new exotic / high-T_c superconductors by suitably employing pressure.</p>			

論文審査結果の要旨

YANG Xiaofan 氏は、最近注目を集めている 3 種類の超伝導物質に対して圧力を印加して、電気抵抗の温度依存性から超伝導特性の圧力依存性を調べるとともに、放射光を使った X 線回折から結晶構造の圧力依存性を調べた。更に、圧力下で観測された興味深い超伝導特性を生み出す構造的な要因や電子的な要因について詳細な考察を行った。第一の物質である金属原子を挿入したグラファイト化合物は、従来 1 つの金属元素を挿入した物質について主として研究がなされてきたが、同氏は、金属原子として Ca と Cs をグラファイト中に挿入した $\text{Ca}_x\text{Cs}_{1-x}\text{C}_y$ (仕込みの $x = 0.8$) を作製することに成功した。実験的に金属原子ドーピング量を同定し、粉末 X 線回折パターンから CsC_8 型構造を取ることで見いだしたので、得られた物質の化学組成は「 $\text{Ca}_{0.8(1)}\text{Cs}_{0.2(1)}\text{C}_8$ 」であると決定した。更に、「イオン半径の大きな挿入金属原子が結晶構造を規定する。イオン半径が類似している場合には相分離が生ずる。」などの二元金属挿入グラファイト物質合成における「合成規則」を実証した。この物質に、圧力を印加すると超伝導転移温度が上昇し、約 10 GPa 以上では減少することを見いだした。前者の起源については、 $\text{Ca}(\text{Cs})$ - $\text{Ca}(\text{Cs})$ フォノンのソフト化に、後者については $\text{Ca}(\text{Cs})$ の位置のグラファイトの六員環中心からのずれに起源をもつとした。第二の物質である Ir 含有物質系については、5d 元素のスピン軌道相互作用に起源をもつ特異な超伝導特性が期待されるが、圧力印加によりオンセット超伝導転移温度が徐々に減少していたのが、8 GPa より上で上昇に転じるという奇妙な振る舞いを見いだした。この奇妙な振る舞いは、結晶構造などの変化を伴っておらず、電子的な変化によって起こっているのではないかと推察した。更に、 $(\text{NH}_3)_y\text{Li}_x\text{FeSe}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$ においては常圧において 2 つの超伝導相があることを発見し、それぞれに圧力を印加すると、特異なダブルドーム型の超伝導相図 (2 つの圧力超伝導相の出現) が得られることを発見した。また、2 つのドームの間で構造的な変化がないことを解明した。このように、最近の興味深い物質系に対する圧力下での超伝導研究により、圧力が超伝導物質に与える影響を詳細に調べており、博士 (理学) の学位を授与するに相応しいと判断できる。