The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	High-Quality Single Crystal Growth and Novel Electronic States in the Quantum Critical Region of Rare Earth and Uranium Compounds
Author(s)	Hirose, Yusuke
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/24538
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【12】

氏　　名	廣　瀬　雄　介（ひろせ ゆうすけ）
博士の専攻分野の名称	博　士（理学）
学 位 記 番 号	第　２５６９０　号
学位授与年月日	平成24年９月25日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 理学研究科物理学専攻
学 位 論 文 名	High-Quality Single Crystal Growth and Novel Electronic States in the Quantum Critical Region of Rare Earth and Uranium Compounds **（希土類・ウラン化合物の純良単結晶育成と量子臨界点近傍の特異な電子状態）**
論 文 審 査 委 員	（主査） 教　授　田島　節子 （副査） 教　授　野末　泰夫　　教　授　花咲　徳亮　　教　授　萩原　政幸 准教授　杉山　清寛　　名誉教授（招へい教授）　大貫　惇睦

論 文 内 容 の 要 旨

希土類・ウラン化合物は磁気秩序、多極子秩序、重い電子系や異方的超伝導など様々な電子状態をとる。これらは、ルダーマン・キッテル・糟谷・芳田(RKKY)相互作用と近藤効果の競合の中で生じる。前者は伝導電子を介して f 電子の磁気モーメントを秩序化し、後者は伝導電子のスピンが f 電子の磁気モーメントを消失させる。両者が拮抗した状態が量子臨界点である。本研究では、純良な $CePtSi_2$,$CeRhGe_2$,$CeIrGe_3$, $LaNiC_2$,YbT_2Zn_{20}(T : Co, Rh, Ir),UT_2Zn_{20}(T : Co, Ir) ,$CeCu_6$ 等の単結晶を育成し、量子臨界点近傍で出現する特異な電子状態を実験的に明らかにした。

反強磁性体 $CePtSi_2$,$CeRhGe_2$,$CeIrGe_3$ では、圧力 P の増大とともにネール点 T_N がゼロになる量子臨界点近傍で重い電子系の超伝導を発見した。加圧により近藤効果が RKKY 相互作用よりも強く増強されるためである。$T_N \to 0$ の臨界圧力 P_c と超伝導転移温度 T_{sc} は $CePtSi_2$ で P_c=1.51GPa,T_{sc}=0.18K, $CeRhGe_2$ で P_c=7.1GPa,T_{sc}=0.45K, $CeIrGe_3$ で P_c=24GPa,T_{sc}=1.6K であった。特に結晶反転対称性のない正方晶の $CeIrGe_3$ では、[001]方向に磁場を加えたとき、上部臨界磁場は著しく増大し、常磁性効果がはたらかないことを見出した。これは結晶反転対称性がないことによって伝導電子のスピンの向きが全て磁場と垂直になるためである。同様に結晶反転対称性のない斜方晶の $LaNiC_2$ では、スピン三重項超伝導の可能性がこれまで議論されてきたが、従来の BCS 型の超伝導であることを初めての純良単結晶を用いた比熱測定から明らかにした。結晶反転対称性の破れに伴うフェルミ面の分裂もドハース・ファンアルフェン効果の測定から明らかにした。ただし、分裂の大きさは 230K 程度と前述の $CeIrGe_3$ に対する参照物質である $LaIrGe_3$ の約 1000K と比較して小さい。

磁気秩序を持たない重い電子系の磁化率はキュリー・ワイス則に従い降温とともに増大し、ある温度 $T_{\chi max}$ で極大となり、$T_{\chi max}$ 以下でわずかに減少して一定値となる。$T_{\chi max}$ は近藤温度 T_K に対応し、T_K が小さいほど重い電子状態となる。磁気秩序を持たないいくつかの Ce や U 化合物では磁化がある磁場 H_m で非線形に増大する、いわゆるメタ磁性が見出されていた。本研究では YbT_2Zn_{20}(T : Co, Rh, Ir)

と UT_2Zn_{20}(T : Co, Ir)で初めてメタ磁性を見出した。例えば、$YbIr_2Zn_{20}$ では $T_{\chi max}$=7.4K で H_m=97kOe, $YbCo_2Zn_{20}$ では $T_{\chi max}$=0.32K で H_m=6kOe, UCo_2Zn_{20} では $T_{\chi max}$=8.5K で H_m=80kOe であった。従来のデータと本研究の実験結果を合わせ、$T_{\chi max}$ と H_m との間に H_m(kOe)=15$T_{\chi max}$、すなわち、$\mu_B H_m = k_B T_{\chi max}$ の単純な関係式が成り立つことがわかった。$T_{\chi max}$ 以下で f 電子が局在から遍歴に、H_m 以上で遍歴から局在に変わることを意味し、重い電子系の一般則の一つを明らかにしたと言えるだろう。また、これまで研究されてきた重い電子系の $CeCu_6$ のメタ磁性の圧力効果の研究も行なった。

本研究では量子臨界点近傍の重い電子状態、反転対称性のない結晶での新奇な超伝導、及び重い電子系に特有なメタ磁性を純良単結晶を育成して明らかにしてきたが、$CeRhGe_2$ や $YbPd_5Al_2$ での新物質の発見、$LaNiC_2$ や $YbGa_4$ で初めて単結晶を育成したことを付言したい。

論文審査の結果の要旨

本研究は、純良な $CePtSi_2$,$CeRhGe_2$,$CeIrGe_3$, $LaNiC_2$,YbT_2Zn_{20}(T : Co, Rh, Ir),UT_2Zn_{20}(T : Co, Ir) ,$CeCu_6$ 等の単結晶を育成し、量子臨界点近傍で出現する特異な電子状態を実験的に明らかにしたものである。

まず、反強磁性体 $CePtSi_2$,$CeRhGe_2$,$CeIrGe_3$ では、圧力 P の増大とともにネール点 T_N がゼロになる量子臨界点近傍で重い電子系の超伝導を発見した。加圧により近藤効果が RKKY 相互作用よりも強く増強されるためである。$T_N \to 0$ の臨界圧力 P_c と超伝導転移温度 T_{sc} は $CePtSi_2$ で P_c=1.51GPa と T_{sc}=0.18K, $CeRhGe_2$ で P_c=7.1GPa と T_{sc}=0.45K, $CeIrGe_3$ で P_c=24GPa と T_{sc}=1.6K であった。特に結晶反転対称性のない正方晶の $CeIrGe_3$ では、[001]方向に磁場を加えたとき上部臨界磁場は著しく増大することを見いだした。これは結晶反転対称性がないことによって伝導電子のスピンの向きが全て磁場と垂直になるためである。

次に、近藤温度とメタ磁性の関係について研究を行った。磁気秩序を持たない重い電子系の磁化率はキュリー・ワイス則に従い降温とともに増大し、ある温度 $T_{\chi max}$ で極大となり、$T_{\chi max}$ 以下でわずかに減少して一定値となる。$T_{\chi max}$ は近藤温度 T_K に対応し、T_K が小さいほど重い電子状態となる。磁気秩序を持たないいくつかの Ce や U 化合物では、磁化がある磁場 H_m で非線形に増大する、いわゆるメタ磁性が見出されていた。本研究では YbT_2Zn_{20}(T : Co, Rh, Ir)と UT_2Zn_{20}(T : Co, Ir)で初めてメタ磁性を見出した。$YbIr_2Zn_{20}$ では $T_{\chi max}$=7.4K で H_m=97kOe, $YbCo_2Zn_{20}$ では $T_{\chi max}$=0.32K で H_m=6kOe, UCo_2Zn_{20} では $T_{\chi max}$=8.5K で H_m=80kOe であった。従来のデータと本研究の実験結果を合わせ、$T_{\chi max}$ と H_m との間に H_m(kOe)=15$T_{\chi max}$(K)、すなわち、$\mu_B H_m = k_B T_{\chi max}$ の単純な関係式が成り立つことがわかった。$T_{\chi max}$ 以下で f 電子が局在から遍歴に、H_m 以上で遍歴から局在に変わることを意味し、重い電子系の一般則の一つを明らかにしたことになる。

また物質開発も行い、新物質である $CeRhGe_2$ や $YbPd_5Al_2$ を開発し、$LaNiC_2$ や $YbGa_4$ については初めて単結晶を育成した。これらの新物質・新結晶は、重い電子系の今後の研究の発展に寄与するものと思われる。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。