

「極限環境状態における現象」  
平成 8 年度採択研究代表者

山下 努

(東北大学未来科学技術共同研究センター 教授)

## 「銅酸化物超伝導体単結晶を用いる超高速集積デバイス」

### 1. 研究実施の概要

高品位の高温超伝導体単結晶の微細加工技術を確立して、 $1\ \mu\text{m}^2$ 以下の微少なデバイスを作製することに成功した。この結果、サブミクロンの素子で単一超伝導電子トンネル効果が起きたことを発見すると共に、固有ジョセフソン効果における量子サイズ干渉効果を初めて観測した。また昨年度にはアンテナ等と接合を備えた集積回路の作成プロセスを開発し、接合のテラヘルツ動作を初めて実証した。

### 2. 研究実施内容

#### (1) Aグループ

微少単結晶接合を作成し、その特性を測定した。その結果、結晶中を運動する磁束量子の速度が光速の1%という速いものであることを確認し、THz波帯周波数が発生することが予測できた。また固有ジョセフソン接合のフラウンホーハーパターンの観測に成功すると共に、接合のテラヘルツ帯の高周波特性を実証した。

#### (2) Bグループ

銅酸化物超伝導体単結晶を用いた超高速集積デバイスを実現するため、本研究では、デバイス特性等の評価やデバイス作製に利用するためのLa214系およびBi2212系酸化物超伝導体単結晶を育成するとともに新規単結晶育成技術を開発し電子デバイス用高品質超伝導体単結晶を育成した。更にエピタキシャル単結晶薄膜プロセスを開発した。

### 3. 主な研究成果の発表(論文発表)

"Interlayer Tunneling in Bi-2212 : Coherency and Charging Effects" Y. I. Latyshev, V. N. Pavlenko, S.-J. Kim, T. Yamashita Advances in Superconductivity XII, pp.47-52, April 2000 ( Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Symposium on Superconductivity( ISS'99 ) )

"Growth of  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_y$  Superconducting Whiskers and Their Characterization" N. Sato, S. Kishida, T. Hirano, S. -J. Kim, T. Yamashita, S. F. W. R. Rycroft and W. Y. Liang Advances in Superconductivity XII, pp.542-544, April 2000 ( Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Symposium on Superconductivity

( ISS'99 )

"Surface morphology of  $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4 / \text{LaSrGaO}_4$  ( 100 ) films deposited by laser ablation at different oxygen pressures" C. Buzea, H.B. Wang, S.J. Kim, T. Tachiki, Y. Uematsu, K. Nakajima, T. Yamashita Advances in Superconductivity XII, pp.966-968, April 2000 ( Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Symposium on Superconductivity( ISS'99 ) )

"Microwave Responses of BSCCO-2212 Intrinsic Josephson Junctions at Frequencies Up to 100 GHz" H. B. Wang, T. Tachiki, Y. Aruga, Y. Mizugaki, J. Chen, K. Nakajima, T. Yamashita and P. H. Wu Advances in Superconductivity, pp.1108-1110, April 2000

"Two-Junction SQUID Controlled by Both DC and RF Magnetic Flux" Yoshinao Mizugaki, Kei Saito, Tadayuki Kondo, J. Chen, Kensuke Nakajima, A. I. Braginski and Tsutomu Yamashita Advances in Superconductivity XII - Proceedings of the 12th International Symposium on Superconductivity ( ISS'99 ) pp.1114-1116, April 2000

"Flux Flow of Josephson Vortices in  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  Single Crystals" T. Tachiki, K. Nakajima, T. Yamashita, I. Tanaka and H. Kojima Advances in Superconductivity XII, pp.1117-1119, April 2000 ( Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Symposium on Superconductivity( ISS'99 ) )

"Universal Correlations of  $T_c$  Ion Mass Scaling with Distance " C. Buzea, T. Yamashita Journal of Superconductivity : Incorporating Novel Magnetism, Vol.13, No.1, pp.181-192, 2000

"Intrinsic Josephson effect and single Cooper pair tunneling " T. Yamashita, S-J Kim, Y. Latyshev, K. Nakajima Physica C 335, pp.219-225, 2000

"Intrinsic Josephson effects in  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  single crystals with various oxygen deficiencies " H.B. Wang, J. Chen, K. Nakajima, T. Yamashita, P.H. Wu, T. Nishizaki, K. Sshibata and N. Kobayashi Physical Review B, Condensed Matter and Materials Physics, Vol.61, No.22, pp.R948-951, June 1<sup>st</sup> 2000

"Individual Shapiro steps observed in resistively shunted intrinsic Josephson junctions on  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$  single crystals " H.B. Wang, Y. Aruga, J. Chen, K. Nakajima, T. Yamashita and P.H. Wu Applied Physics Letters, Vol.77, No.7, pp.1017-1019

"The Anomalous Resistivity Peak of Intrinsic Layered High- $T_c$  Superconductors" C. Buzea, T. Tachiki, S.-J. Kim, H.B. Wang, Y. Uematsu, K. Nakajima, T. Yamashita, H. Sato and M. Naito Advances in Cryogenic

Engineering ( Materials ) Volume46, pp.607-614

"Heuristic Model For The Anomalous Resistivity Peak of Low- and High-Temperature Superconductors Based on Materials Anisotropy " C. Buzea, T. Tachiki and T. Yamashita Advances in Cryogenic Engineering ( Materials ) Volume46, pp.615-622

"Interlayer Tunneling of Quasiparticles and Cooper Pairs in Bi-2212 Single Crystal Whiskers " Yu. I. Latyshev, V. N. Pavlenko, S.-J. Kim, T. Yamashita, L.N. Bulaevskii, M.J. Graf, A.V. Balatsky, N. Morozov, and M. P. Maley Physica C, Volume 341-348, pp.1499-1502, November 2000

"C-axis tunneling in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  in the magnetic field up to 60 T" N.Morozov, L. Krusin-Elbaum, T. Shibauchi, L.N. Bulaevskii, M.P. Maley, Yu.I. Latyshev and T.Yamashita Physica C, Volume 341-348, pp.1511-1514, November 2000

"High Speed Vortex Motion in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$  Intrinsic Josephson Junctions Fabricated by Inhibiting Ion Implantation " K. Nakajima, T. Yamashita, S. Sudo and T. Tachiki Physica C, Volume 341-348, pp.1599-1600, November 2000

"Switching Device Based on RF-Field-Driven High-Tc SQUID" T. Kondo, Y. Mizugaki, K. Saito, K. Nakajima and T. Yamashita IEICE TRANSACTIONS on Electronics, VolumeE84-C, No.1, pp.55-60, January 2001

"Intrinsic Josephson Junction Arrays on  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$  Single Crystals and Their Possible Applications at 100 GHz" H.B. Wang, J. Chen, K. Nakajima, T. Yamashita and P.H. Wu IEICE TRANSACTIONS on Electronics, VolumeE84-C, No.1, pp.61-66, January 2001

"固有ジョセフソン効果 - 新現象と応用の可能性 - " 山下 努 応用物理、第70巻、第1号、2001年