

Anomali Halaju Bunyi Ricih dan Atenuasi Ultrasonik dalam $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($\delta = 0.06$ dan 0.6)

(Shear Sound Velocity and Ultrasonic Attenuation Anomalies in $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($\delta = 0.06$ and 0.6))

R. ABD-SHUKOR^{1,*}, B.B. LEE¹, K. MUHAMMAD-NAJIB¹, NOR AZAH NIK-JAAFAR² & MOHD NARIZEE MOHD NASIR¹

¹Department of Applied Physics, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia

²Pusat PERMATA@Pintar Negara, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia

Diserahkan: 15 Mei 2023/Diterima: 3 Julai 2023

ABSTRAK

Halaju bunyi, v_s dan atenuasi ultrasonik, α gelombang ricih dalam $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ yang mensuperkonduksi dan $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.40}$ yang tidak mensuperkonduksi telah diukur daripada 80 dan 200 K pada julat frekuensi MHz. Sampel superkonduktor $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ menunjukkan histeresis terma dan peningkatan halaju ricih, $\frac{\Delta v_s}{v_s}$ sebanyak 2.5% apabila bila suhu diturunkan daripada 200 K hingga 80 K. Sampel $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.40}$ yang bukan superkonduktor pula menunjukkan peningkatan $\frac{\Delta v_s}{v_s} = 1.5\%$ apabila suhu diturunkan dalam julat suhu yang sama. Tiada histeresis yang ketara dicerap dalam sampel $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.40}$ yang bukan superkonduktor. Superkonduktor $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ menunjukkan halaju bunyi ricih meningkat dengan ketara berhampiran suhu genting mula ($T_{c\text{-mula}} = 93$ K) semasa penyejukan tetapi tidak semasa pemanasan. Sampel superkonduktor $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ juga menunjukkan puncak atenuasi berhampiran suhu genting. Di samping itu wujud puncak atenuasi yang lebar pada 140 K semasa suhu menaik dan 160 K semasa suhu menurun bagi sampel $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ yang mensuperkonduksi. Anomali ultrasonik dalam superkonduktor $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ diterangkan menggunakan kandungan oksigen dan tertiban oksigen dalam satah dan rantai kuprum oksida.

Kata kunci: Halaju bunyi; modulus ricih; pembelauan sinar-X; tertiban oksigen

ABSTRACT

Sound velocity, v_s , and ultrasonic attenuation, α of shear waves in superconducting $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ and non-superconducting $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.40}$ were measured from 80 to 200 K in the MHz frequency range. The superconducting $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ showed a thermal hysteresis and increased shear velocity, $\frac{\Delta v_s}{v_s}$ by 2.5% when the temperature was lowered from 200 K to 80 K. The non-superconducting sample $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.40}$ showed an increase in the shear velocity, $\frac{\Delta v_s}{v_s}$ by 1.5% when the temperature was lowered in the same range. No significant hysteresis was observed in the non-superconducting $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.40}$. The superconducting $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ showed a significant increase in the shear velocity near the onset critical temperature ($T_{c\text{-onset}} = 93$ K) during cooling but not warming. The superconducting sample, $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ also showed an attenuation peak near the critical temperature. In addition, a broad attenuation peak was observed at 140 K during warming and 160 K during cooling for the superconducting $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ sample. The ultrasonic anomalies observed in the superconducting $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ was explained in terms of oxygen content and oxygen orderings in the copper oxide chains and layers.

Keywords: Oxygen orderings; shear modulus; sound velocity; X-ray diffraction

PENGENALAN

Mekanisme kesuperkonduksian bahan berasaskan kuprum oksida masih lagi menjadi topik penyelidikan

yang aktif hingga kini. Ini memandangkan tiada lagi mekanisme yang dapat menjelaskan sifat bahan superkonduktor perovskit yang kompleks ini. Pengukuran ultrasonik dan elastik adalah kaedah yang sangat sensitif

terhadap perubahan kecil getaran kekisi dan peralihan fasa. Kaedah ini telah digunakan dengan jayanya untuk menentukan mekanisme superkonduktor konvensional seperti logam dan aloi. Peralihan superkonduktor adalah peralihan tertib ke dua dan penurunan mendadak getaran kekisi berlaku pada suhu genting. Oleh itu pengukuran halaju bunyi adalah penting untuk memahami mekanisme pasangan Cooper dalam bahan kuprum oksida.

Sifat elastik dan atenuasi ultrasonik superkonduktor kuprum oksida menunjukkan pelbagai anomali berhampiran suhu genting, T_c . Anomali ini menunjukkan ketidakstabilan kekisi atau peralihan fasa antara keadaan superkonduktor dengan keadaan normal (Abd-Shukor 2018; Neeleshwar et al. 2006; Vui & Abd-Shukor 2016; Zhang, Ying & Yuan 2011). Rajah fasa telah digunakan untuk memahami hubungan antara sifat elastik, kandungan oksigen dan tertiban oksigen dalam rantai dan satah kuprum oksida dalam superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (Calemczuk et al. 1988; Ceder, Asta & de Fontaine 1991; Mamsurova et al. 1990; Sahoo, Singh & Behera 2020). Kajian kepustakaan tentang sifat ultrasonik superkonduktor berasaskan Tl dan Hg telah diberikan oleh Abd-Shukor (2018) dan Abd-Shukor et al. (2022).

$RBa_2Cu_3O_7$ (dengan R ialah Y atau kebanyakan nadir bumi) yang kaya oksigen mempamerkan ciri fizikal yang hampir sama. Walau bagaimanapun, suhu genting T_c dilaporkan bergantung kepada jejari ion R. Tm^{3+} sebahagiannya boleh digantikan ke tapak Ba^{2+} kerana jejari ion yang serupa dan ini tidak berlaku dalam $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (Bukowski et al. 1996).

Sifat elastik bahan kuprum oksida dan pemalar gandingan elektron-fonon yang berkaitan telah dilaporkan (Abd-Shukor 2002). Sifat ultrasonik superkonduktor dan bukan superkonduktor $TmBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ pada suhu rendah berhampiran suhu genting belum banyak dilaporkan. Penyelidikan ini bertujuan untuk mengukur halaju bunyi ricih, v_s dan atenuasi ultrasonik, α $TmBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ dalam fasa mensuperkonduksi dan tidak mensuperkonduksi. Pengukuran dibuat daripada 80 hingga 200 K dan hasilnya dibandingkan dengan $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ yang telah banyak dikaji. Halaju bunyi dan atenuasi diukur pada sampel yang sama yang menjalani kitaran pemanasan yang berbeza untuk mendapatkan kandungan oksigen yang berbeza. Teknik pembelauan sinar-X digunakan untuk menentukan fasa dan ukuran rintangan melawan suhu digunakan untuk menentukan suhu genting.

Daripada segi aplikasi, maklumat mengenai sifat akustik seperti halaju bunyi dan modulus kekenyalan yang diukur dalam kajian ini adalah penting untuk memastikan bahan superkonduktor ini mempunyai sifat yang sesuai

dalam berbagai persekitaran. Ini termasuklah bagi aplikasi dalam medan magnet tinggi yang memerlukan bahan dengan sifat mekanikal yang baik.

BAHAN DAN KAEDAH

Serbuk Tm_2O_3 , $BaCO_3$ dan CuO dengan ketulenan lebih daripada 99.9% telah digunakan untuk menyediakan sampel. Kaedah tindak balas keadaan pepejal piawai telah digunakan. Logam oksida dan karbonat dicampur, dikisar dan dipanaskan dalam udara pada 900 °C selama 48 jam. Selepas itu sampel dipeletkan dan dipanaskan sekali lagi dalam udara pada 900 °C selama 48 jam. Diameter pelet adalah 12.5 mm dan ketebalannya adalah 2.5 mm. Ketumpatan pelet ditingkatkan dengan mengisar dan memanaskan pelet beberapa kali supaya sampel menjadi homogen dan gema ultrasonik boleh diperolehi. Langkah ini adalah penting untuk mendapatkan corak gema supaya pengukuran ultrasonik boleh dijalankan.

Pengukuran ultrasonik dibuat pada $TmBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ yang mensuperkonduksi. Sampel yang sama kemudiannya dipanaskan semula pada 930 °C selama satu jam dalam aliran gas nitrogen dan seterusnya disejukkan dengan cepat pada kadar 100 °C/min yang menjadikannya tidak mensuperkonduksi iaitu teknik yang sama digunakan seperti bahan $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (Knizhnik et al. 2003). Seterusnya pengukuran ultrasonik dibuat pada sampel bukan mensuperkonduksi untuk membandingkan sifat kedua-dua sampel ini.

Alat difraktometer sinar-X Siemens D5000 dengan sinaran CuK_α daripada $2\theta = 2^\circ$ hingga 60° digunakan untuk menentukan struktur. Parameter kekisi sampel superkonduktor dihitung menggunakan lebih daripada 10 puncak pembelauan sinar-X.

Teknik penduga empat titik digunakan untuk mengukur rintangan elektrik. Cat perak digunakan sebagai penghubung elektrik. Jarak antara penduga adalah kira-kira 1 hingga 2 mm. Alat pengukuran penduga empat titik terdiri daripada Multimeter Mikrovolt Keithley 197 dan sumber arus Keithley 220. Arus malar daripada 1 mA hingga 100 mA telah digunakan. Pengukuran dibuat menggunakan kriostat CTI Cryogenics Model 22 dan pengawal suhu Lake Shore Model 340. Suhu genting mula, T_{c-mula} ialah suhu bermulanya penurunan mendadak rintangan elektrik yang menunjukkan permulaan fasa mensuperkonduksi. Suhu genting sifar, $T_{c-sifar}$ ialah suhu bermulanya rintangan bahan menjadi sifar.

Sistem MATEC 7700 gema berdenyut bertindih telah digunakan untuk mengukur atenuasi ultrasonik dan

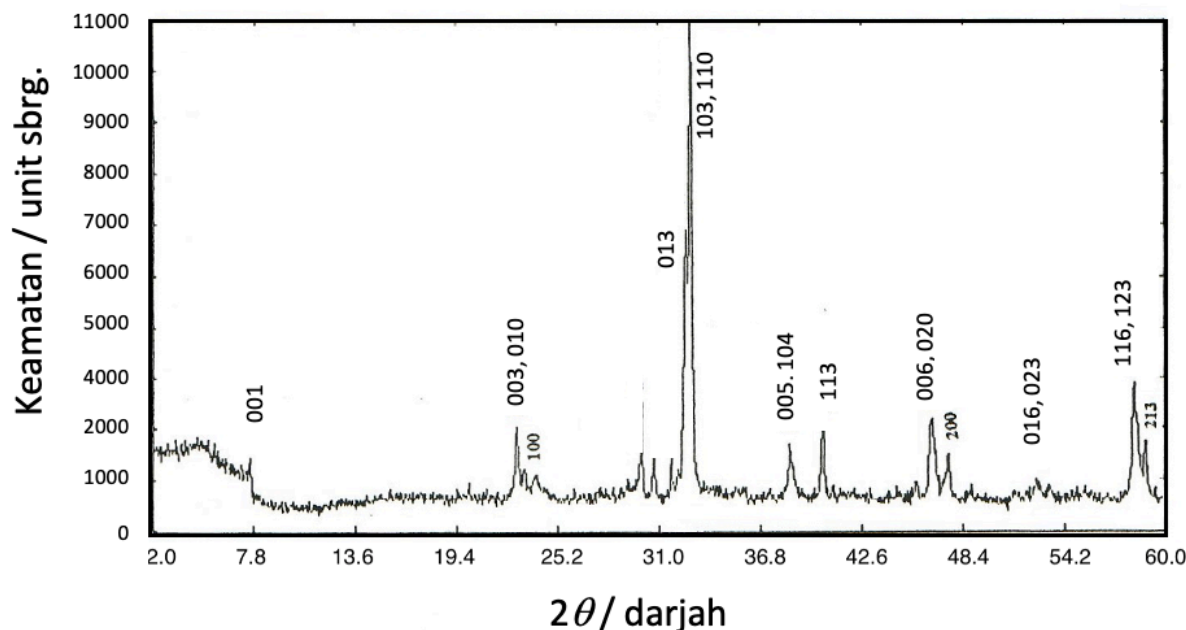
halaju bunyi ricih. Transduser kuarza potongan Y (ricih) pada frekuensi $f = 7$ MHz untuk sampel superkonduktor dan 11 MHz untuk sampel bukan superkonduktor telah digunakan. Frekuensi tersebut digunakan kerana keduanya memberikan corak gema terbaik bagi setiap sampel. Gris Nonaq digunakan untuk menghubungkan sampel dengan transduser. Kriostat Oxford Instruments (model DN 1711) telah digunakan untuk pengukuran ultrasonik. Suhu diubah pada kadar 0.5 K/min.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

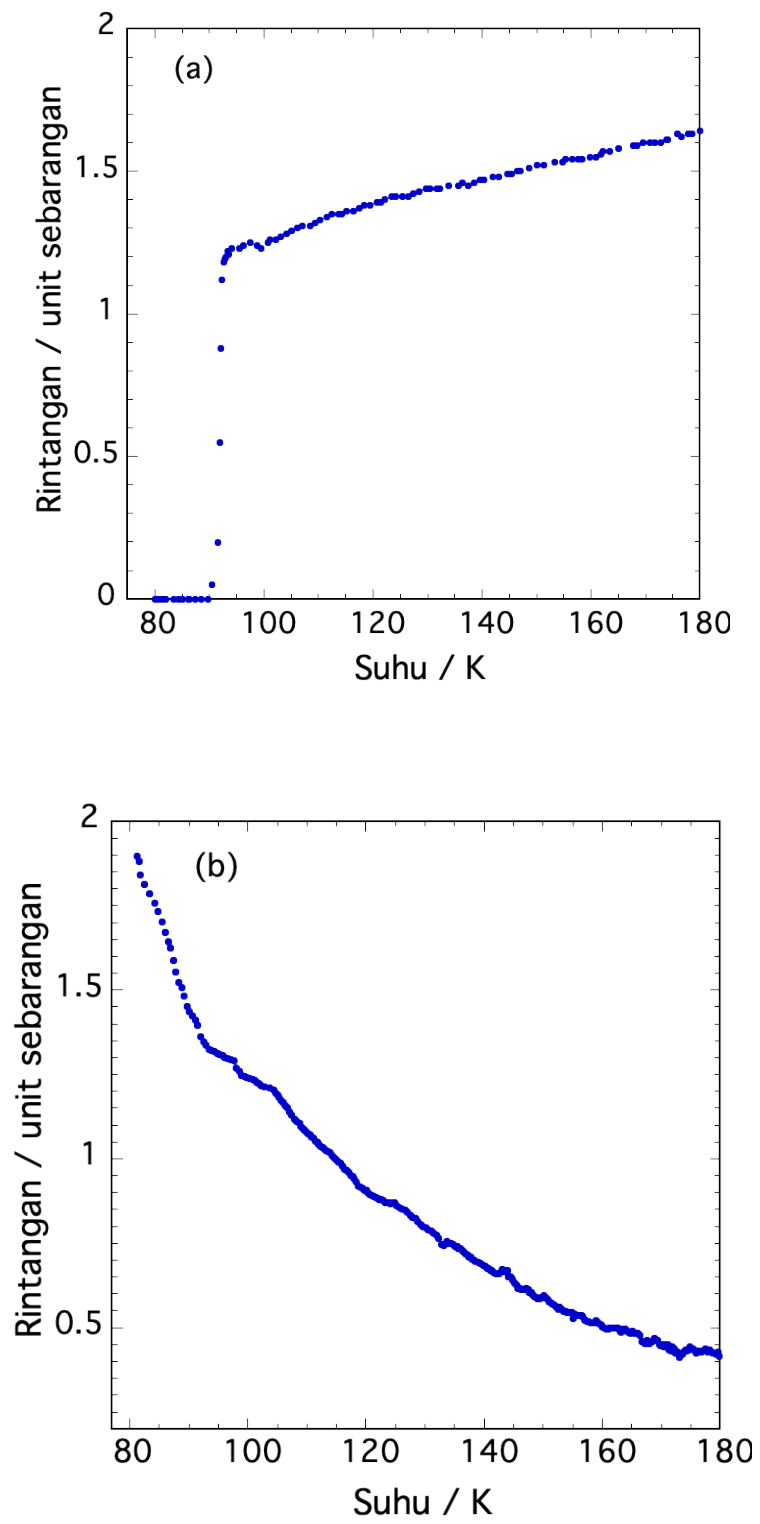
Corak pembelauan sinar-X menunjukkan fasa $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ dengan struktur ortorombik untuk sampel superkonduktor (Rajah 1). Parameter kekisi ialah $a = 3.813 \pm 0.002 \text{ \AA}$, $b = 3.886 \pm 0.002 \text{ \AA}$ dan $c = 11.662 \pm 0.002 \text{ \AA}$. Kandungan oksigen untuk superkonduktor ini ditentukan dengan membandingkan nilai a , b dan c dengan kandungan oksigen seperti yang dilaporkan oleh Mineo et al. (1989). Sampel superkonduktor menunjukkan kandungan oksigen 6.94. Sampel superkonduktor ini menunjukkan keadaan normal seperti logam dengan $T_{c\text{-mula}} = 93 \text{ K}$ dan $T_{c\text{-sifar}} = 90 \text{ K}$ (Rajah 2(a)). Sampel bukan superkonduktor menunjukkan keadaan normal seperti semikonduktor (Rajah 2(b)). Berdasarkan hubungan parameter kekisi dengan kandungan oksigen, sampel bukan superkonduktor ini mempunyai kandungan oksigen 6.40.

Modulus ricih, G untuk sampel polihabur diberikan sebagai $G = \rho v_s^2$, dengan ρ ialah ketumpatan. Halaju bunyi keliangan sifar boleh dianggarkan menggunakan persamaan $v_I = \sqrt{\frac{\rho_{th}}{\rho_M}} v_M$ dengan v_I ialah halaju ideal, v_M ialah halaju uji kaji, ρ_{th} ialah ketumpatan teori dan ρ_M ialah ketumpatan uji kaji (Levy et al. 1992). Jadual 1 menunjukkan halaju bunyi ricih dan modulus ricih yang diukur dan anggaran keliangan sifar bagi kedua-dua sampel.

Halaju bunyi ricih bagi superkonduktor $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ meningkat apabila suhu diturunkan. Ini menunjukkan pengerasan kekisi berlaku apabila suhu diturunkan. Peningkatan halaju ricih ialah $\frac{\Delta v_s}{v_s} = 2.2 \%$ antara 80 K dengan 200 K (Rajah 3(a)). Sampel bukan superkonduktor pula menunjukkan $\frac{\Delta v_s}{v_s} = 1.5 \%$ yang lebih kecil (Rajah 3(b)). Histeresis dalam halaju bunyi kadang-kadang dicerap dalam sampel $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ dengan butiran kasar. Kehadiran histeresis dalam sampel superkonduktor $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ menunjukkan kesan tegasan dalaman disebabkan oleh sifat polihabur sampel. Modulus ricih pada 80 K bagi sampel $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ dengan keliangan sifar ialah $G = 28.8 \pm 1.2 \text{ GPa}$ manakala sampel bukan superkonduktor $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.40}$ pula menunjukkan modulus ricih dengan keliangan sifar $G = 26.9 \pm 1.2 \text{ GPa}$.



RAJAH 1. Corak pembelauan sinar-X bagi superkonduktor $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$



RAJAH 2. Rintangan elektrik melawan suhu untuk (a) $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ dan (b) $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.40}$

Atenuasi ultrasonik diukur serentak dengan halaju bunyi. Puncak atenuasi berhampiran suhu genting (pada 85 K dan 95 K) diperhatikan semasa suhu menaik untuk sampel superkonduktor (Rajah 4(a)). Walau bagaimanapun, sampel bukan superkonduktor (Rajah 4(b)) tidak menunjukkan sebarang puncak pada suhu yang sama. Puncak atenuasi berhampiran T_c boleh dikaitkan dengan penyerapan tenaga ultrasonik yang meningkat dalam fasa superkonduktor. Puncak atenuasi di atas dan di bawah T_c juga diperhatikan dalam superkonduktor $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ (Marlianto et al. 1998) dan $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ (Cheng et al. 1988). Sampel $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.40}$ bukan superkonduktor menunjukkan penurunan mendadak atenuasi daripada 200 K ke 160 K dan kadar penurunan yang lebih rendah daripada 160 K ke 80 K (Rajah 4(b)). Puncak atenuasi adalah lebih kecil dalam sampel bukan superkonduktor. Atenuasi sampel bukan superkonduktor adalah 10 kali lebih tinggi berbanding sampel yang mensuperkonduksi. Ini mungkin disebabkan oleh perubahan pada mikrostruktur bahan yang menyebabkan kehilangan tenaga ultrasonik yang tinggi dalam $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.40}$ yang bukan superkonduktor.

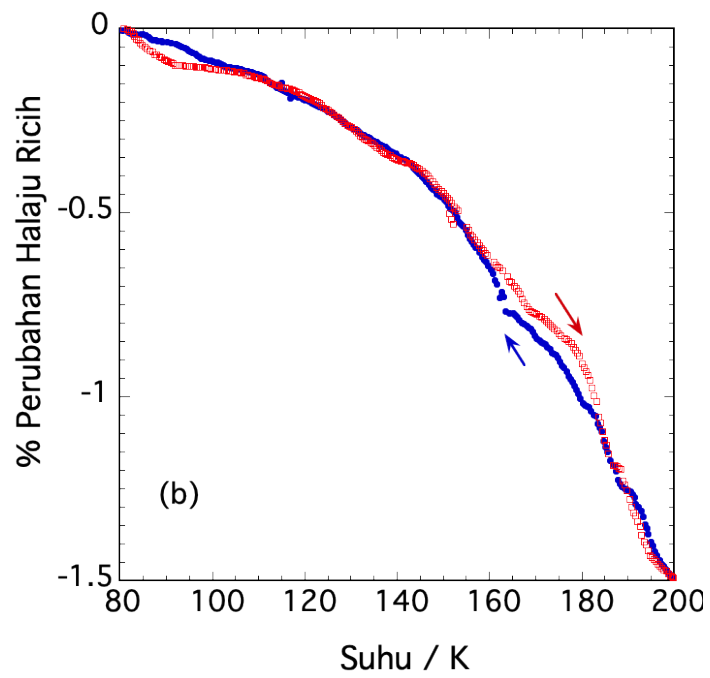
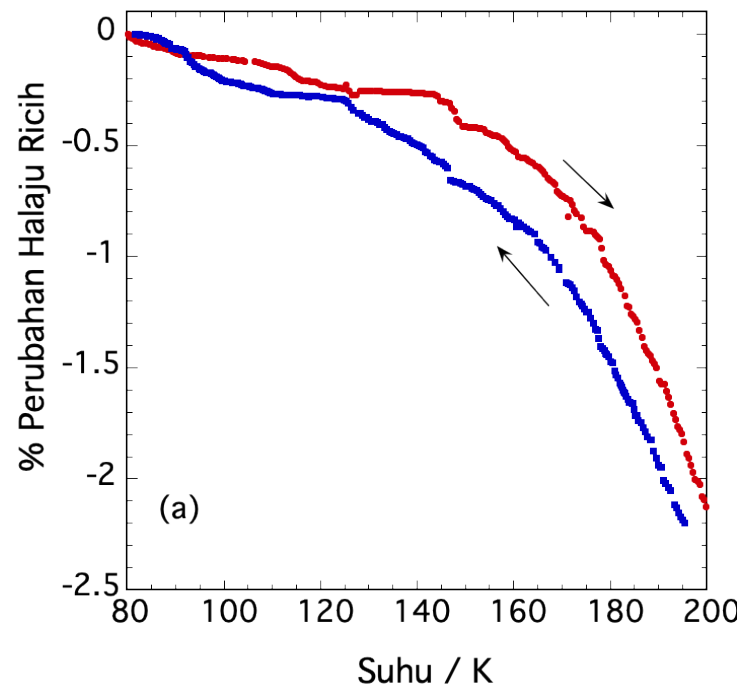
Puncak atenuasi yang lebar berhampiran 140 K dan 160 K dalam superkonduktor $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ mungkin disebabkan oleh peralihan sempadan fasa dari rantau ortho-I ke rantau ortho-I dan ortho-III bercampur seperti yang dilaporkan dalam superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$. Dalam fasa ortho-II, faktor pengisian oksigen dalam satah Cu(1) yang kekurangan oksigen akan bertukar-tukar dari baris ke baris. Pertukaran ini akan berkurang apabila suhu meningkat. Penyebaran semula ion oksigen di antara baris-baris ini meningkatkan bahagian pecahan fragmen rantai CuO yang pendek yang tidak

dapat membekalkan lohong ke dalam satah CuO_2 . Ini mengurangkan kepekatan lohong dalam satah Cu(2) dan seterusnya menurunkan suhu genting. Berhampiran 150 °C, sampel mengalami peralihan fasa tertib kedua kepada fasa ortho-1 dan baris-baris dipenuhi dengan oksigen dengan sama rata (Uimin et al. 1992). Pergerakan oksigen yang menghasilkan fasa tertib kedua boleh menghasilkan peningkatan dalam atenuasi ultrasonik seperti yang ditunjukkan pada 140 K dan 160 K dalam sampel superkonduktor $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$. Sampel bukan superkonduktor $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.4}$ pula menunjukkan puncak atenuasi yang lebih rendah (pada 140 K dan 160 K) disebabkan berkurangnya pergerakan oksigen dalam sampel yang kurang oksigen ini.

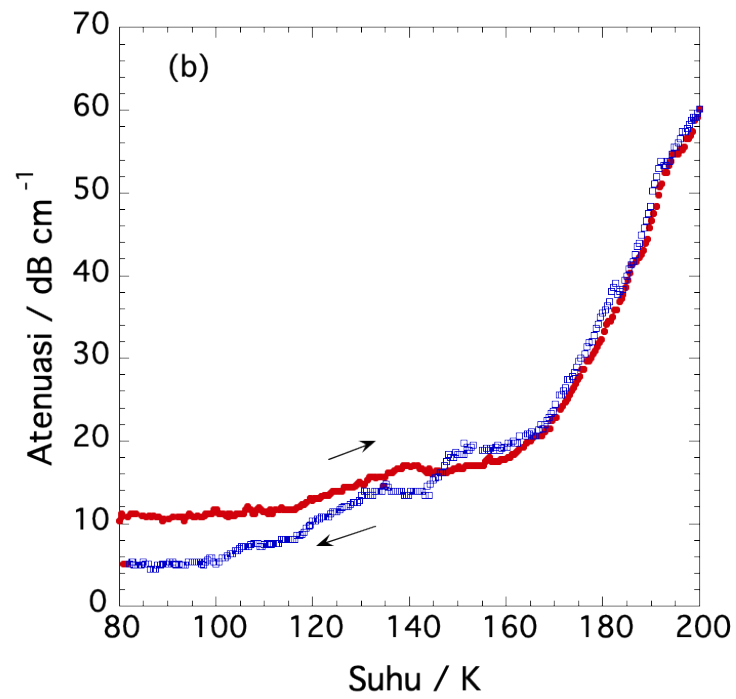
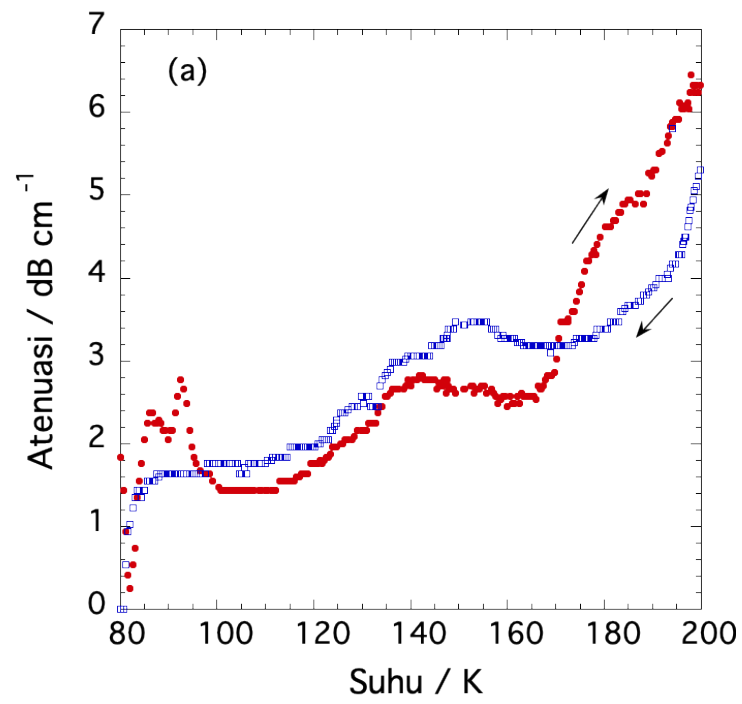
Puncak atenuasi ini juga boleh disebabkan oleh tertiban oksigen dalam satah kuprum oksida. Tiada anomali diperhatikan dalam sampel rendah oksigen mungkin disebabkan oleh ketiadaan tertiban oksigen yang serupa berlaku. Ini juga konsisten dengan laporan oleh Mamsurova et al. (1990) bagi bahan $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ yang kaya dengan oksigen yang menunjukkan atenuasi ultrasonik meningkat pada suhu melebihi T_c . Sampel superkonduktor yang dikaji ini juga menunjukkan puncak atenuasi berhampiran suhu genting. $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ menunjukkan penurunan mendadak atenuasi di bawah suhu genting. Dalam superkonduktor konvensional, penurunan atenuasi secara eksponen di bawah suhu genting adalah disebabkan oleh pembentukan pasangan Cooper. Kajian lepas menunjukkan tidak semua superkonduktor berasaskan kuprum oksida menunjukkan puncak atenuasi berhampiran suhu genting dan penurunan mendadak di bawah suhu genting. Ini adalah hasil yang menarik untuk kajian teori dan uji kaji selanjutnya.

JADUAL 1. T_c , ketumpatan, keliangan, halaju bunyi ricih (v_s), modulus ricih (G) diukur pada 80 K untuk $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ yang mensuperkonduksi dan $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.40}$ yang tidak mensuperkonduksi. Nilai dalam kurungan adalah anggaran bagi bahan dengan keliangan sifar

	$\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ (Superkonduktor)	$\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.40}$ (Bukan Superkonduktor)
$T_{c\text{-mula}} / \text{K}$	93	-
$T_{c\text{-sifar}} / \text{K}$	90	-
Ketumpatan / g cm^{-3}	4.99 ± 0.06 (7.16 \pm 0.01)	4.72 ± 0.06 (7.06 \pm 0.01)
Keliangan / %	30.1	33.1
$v_s / \text{m s}^{-1}$	2010 ± 16 (2410 \pm 30)	1950 ± 18 (2390 \pm 40)
G / GPa	20.1 ± 0.6 (28.8 \pm 1.2)	18.0 ± 0.6 (26.9 \pm 1.2)



RAJAH 3. Halaju ricih melawan suhu untuk (a) superkonduktor $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ dan (b) bukan superkonduktor $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.40}$. Anak panah menunjukkan suhu menaik atau menurun



RAJAH 4. Atenuasi ultrasonik melawan suhu untuk (a) superkonduktor $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ dan (b) bukan superkonduktor $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.40}$. Anak panah menunjukkan suhu menaik atau menurun

KESIMPULAN

Atenuasi ultrasonik dan halaju ricih bahan $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ yang mensuperkonduksi dan $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.40}$ yang tidak mensuperkonduksi telah diukur. Peratus perubahan dalam halaju bunyi ricih adalah bergantung kepada kandungan oksigen. Sampel superkonduktor menunjukkan histeresis terma dan peratus perubahan halaju yang lebih besar ($\frac{\Delta v_s}{v_s} = 2.5\%$) berbanding sampel bukan superkonduktor yang menunjukkan perubahan $\frac{\Delta v_s}{v_s} = 1.5\%$. Sampel superkonduktor $\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$ menunjukkan halaju bunyi ricih yang lebih besar dan ini menunjukkan pengerasan kekisi apabila kandungan oksigen meningkat. Hampir semua superkonduktor berasaskan kuprum oksida menunjukkan puncak atenuasi pada suhu melebihi suhu genting (antara 140 dan 160 K) tetapi tidak semua menunjukkan puncak atenuasi berhampiran suhu genting seperti yang diperhatikan dalam kajian ini. Adalah dijangkakan puncak atenuasi pada suhu genting bergantung kepada beberapa faktor seperti mikrostruktur dan kandungan oksigen. Kajian lanjut mengenai hal ini perlu dijalankan untuk menjelaskan anomali atenuasi pada suhu genting dalam sistem superkonduktor kuprum oksida secara umum.

PENGHARGAAN

Kementerian Pengajian Tinggi (MOHE), Malaysia telah membiayai penyelidikan ini melalui geran no. FRGS/1/2020/STG07/UKM/01/1.

RUJUKAN

- Abd-Shukor, R. 2018. Ultrasonic and elastic properties of Tl- and Hg-based cuprate superconductors: A review. *Phase Transition* 91: 48-57.
- Abd-Shukor, R. 2002. Acoustic Debye temperature and role of phonons in cuprate and related superconductors. *Superconductor Science and Technology* 15: 435-438.
- Abd-Shukor, R., Tan, L.K., Nor Azah Nik-Jaafar & Mohd Nasir, M.N. 2022. Ultrasonic attenuation and shear modulus at the critical temperature of moderately doped $(\text{Tl}_{0.8}\text{Bi}_{0.2})\text{Sr}_2(\text{Ca}_{0.9}\text{Cr}_{0.1})\text{Cu}_2\text{O}_7$ superconductor. *Sains Malaysiana* 51(9): 3097-3101.
- Bukowski, Z., Plackowski, T., Sułkowski, C., Włosewicz, D. & Zaleski, A.J. 1996. $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$ ceramics processed under oxygen pressure of 250: Enhancement of intragrain superconducting properties. *Physical Review B* 53: 2781.
- Calemczuk, R., Banjour, E., Henry, Y.J., Forro, L., Ayache, C., Jurgens, M.J.M., Rossat-Minghod, J., Barbara, B., Burlat, P., Couach, M., Khoder, A.F. & Sake, B. 1988. Evidence of a first order phase transition in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.9}$ at $T = 230$ K. *Physica C* 153-155: 960-961.
- Ceder, G., Asta, M. & de Fontaine, D. 1991. Computation of the OI-OII-OIII phase diagram and local oxygen configurations for $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_z$ with z between 6.5 and 7. *Physica C* 177: 106-114.
- Cheng, X.H., Sun, L.H., Wang, Y.N., Shen, H.M. & Yu, Z. 1988. The relationship between the phase-transition-like anomalies above T_c and superconductivity in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$. *Journal of Physics C* 21: 4603-4609.
- Knizhnik, A., Shter, G.E., Grader, G.S., Reisner, G.M. & Eckstein, Y. 2003. Interrelation of preparation conditions, morphology, chemical reactivity and homogeneity of ceramic YBCO. *Physica C* 400(1-2): 25-35.
- Levy, M., Xu, M., Sarma, B.K. & Sun, K.J. 1992. Ultrasonic propagation in sintered high- T_c superconductor. In *Ultrasonics of High T_c and Other Unconventional Superconductors*, edited by Levy, M. New York: Academic Press. XX: 295.
- Mamsurova, L.G., Pigalskiy, K.S., Sakun, V.P., Shushin, A.I. & Scherbakova, L.G. 1990. First- and second-order phase transitions and oxygen rearrangement over the Cu1-O4 chains in orthorhombic $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ at low temperatures. *Physica C* 167: 11-19.
- Marlianto, E., Yahya, M., Salleh, M.M. & Abd-Shukor, R. 1998. Oxygen related ultrasonic attenuation and elastic anomalies in $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($\delta \sim 0.02$ and 0.45). *Journal of Alloys and Compounds* 274: 55-58.
- Mineo, K., Shigemitsu, N., Kiyotaka, N., Hiroyuki, S., Shinnosuke, M., Nobuo, F. & Akira, Y. 1989. The phase change due to oxygen content in the $\text{LnBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ compound systems ($\text{Ln} = \text{Tm}, \text{Gd}$ and Sm). *Japanese Journal of Applied Physics* 28: L609-L611.
- Neeleshwar, S., Muralidhar, M., Murakami, M. & Venugopal Reddy, P. 2006. Elastic behavior of oxygen-controlled melt growth processed neg-123 HTSC materials. *International Journal of Modern Physics B* 20: 667-675.
- Sahoo, B., Singh, A.K. & Behera, D. 2020. Graphene oxide modified superconducting and elastic parameters of YBCO superconductor. *Materials Chemistry and Physics* 240: 122252.
- Uimin, G.V., Gantmakher, V.F., Neminsky, A.M., Novomlinsky, L.A., Shovkun, D.V. & Brüll, P. 1992. Dependence of T_c on the oxygen distribution in the CuO chains in the high temperature superconductors $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$. *Physica C* 192: 481-490.
- Vui, C.T. & Abd-Shukor, R. 2016. Ultrasonic attenuation anomalies of n-type superconductor $\text{Pr}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$. *Modern Physics Letters B* 23: 1650314.
- Zhang, L., Ying, X.N. & Yuan, Y.H. 2011. Internal friction study on bilayer cuprates $\text{Pr}(\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x)_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. *Physica C* 471: 62-65.

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: ras@ukm.edu.my