

. T (, fi
) , fl fi
(,) 3DG. B
3DG w
(,). H w
ffi
N
3DG w
fi 17,18
H , w
3DG w
19
S (SLM),
(AM)
(3D)
w ffi
fl *in-situ* T
SLM T 20
21 , N 22 . C w
C w N
w
CVD w (< 0.001 %) w
w , w
23 . W N
(> 0.1 %) 17 , fi
24 . H w
SLM ffi
w
fl w w
(1000–1100). F ff
SLM 25
T , w fi
3DG/ (3DG/C)
SLM w CVD w
A w
SLM
w 8.2

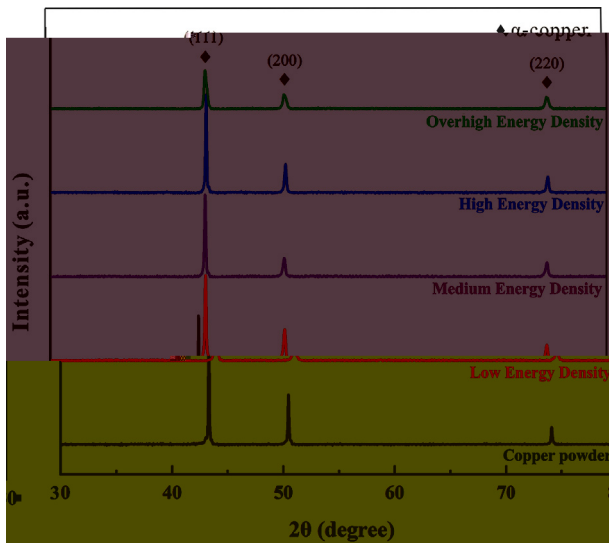


Fig. 3. XRD patterns of α -Copper at different energy densities: (a) 3000 J/mm³, (b) 857 J/mm³, (c) 285 J/mm³, (d) 128 J/mm³.

3.1.2. Formation of anisotropic microstructure under different volumetric energy density

The XRD patterns of α -Copper at different energy densities are shown in Fig. 3. The main peaks are indexed to the (111), (200), and (220) planes of α -Copper. The peak positions are $2\theta = 43.32^\circ$, 50.45° , and 73.52° , respectively (Fig. 3). The intensity of the (111) peak is significantly higher than that of the other two peaks, indicating a strong texture along the [111] direction. The texture becomes more pronounced as the energy density increases.

The microstructures of the SLM-processed copper samples at different energy densities are shown in Fig. 4. The samples are labeled (a) through (d). (a) 3000 J/mm³: The microstructure shows a dense network of interconnected pores and a fish-scale-like defect. (b) 857 J/mm³: The microstructure shows a dense network of interconnected pores and a fish-scale-like defect. (c) 285 J/mm³: The microstructure shows a dense network of interconnected pores and a fish-scale-like defect. (d) 128 J/mm³: The microstructure shows a dense network of interconnected pores and a fish-scale-like defect. The energy density significantly affects the morphology and distribution of the pores and defects.

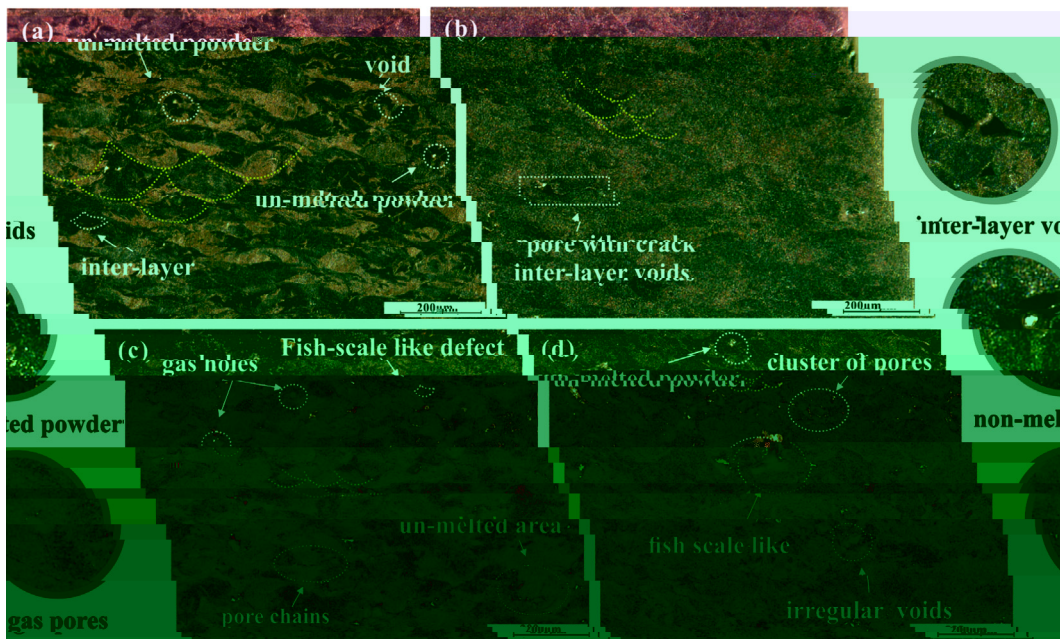


Fig. 4. Optical micrographs of SLM-processed copper samples at different energy densities: (a) 3000 J/mm³, (b) 857 J/mm³, (c) 285 J/mm³, (d) 128 J/mm³.

... ..

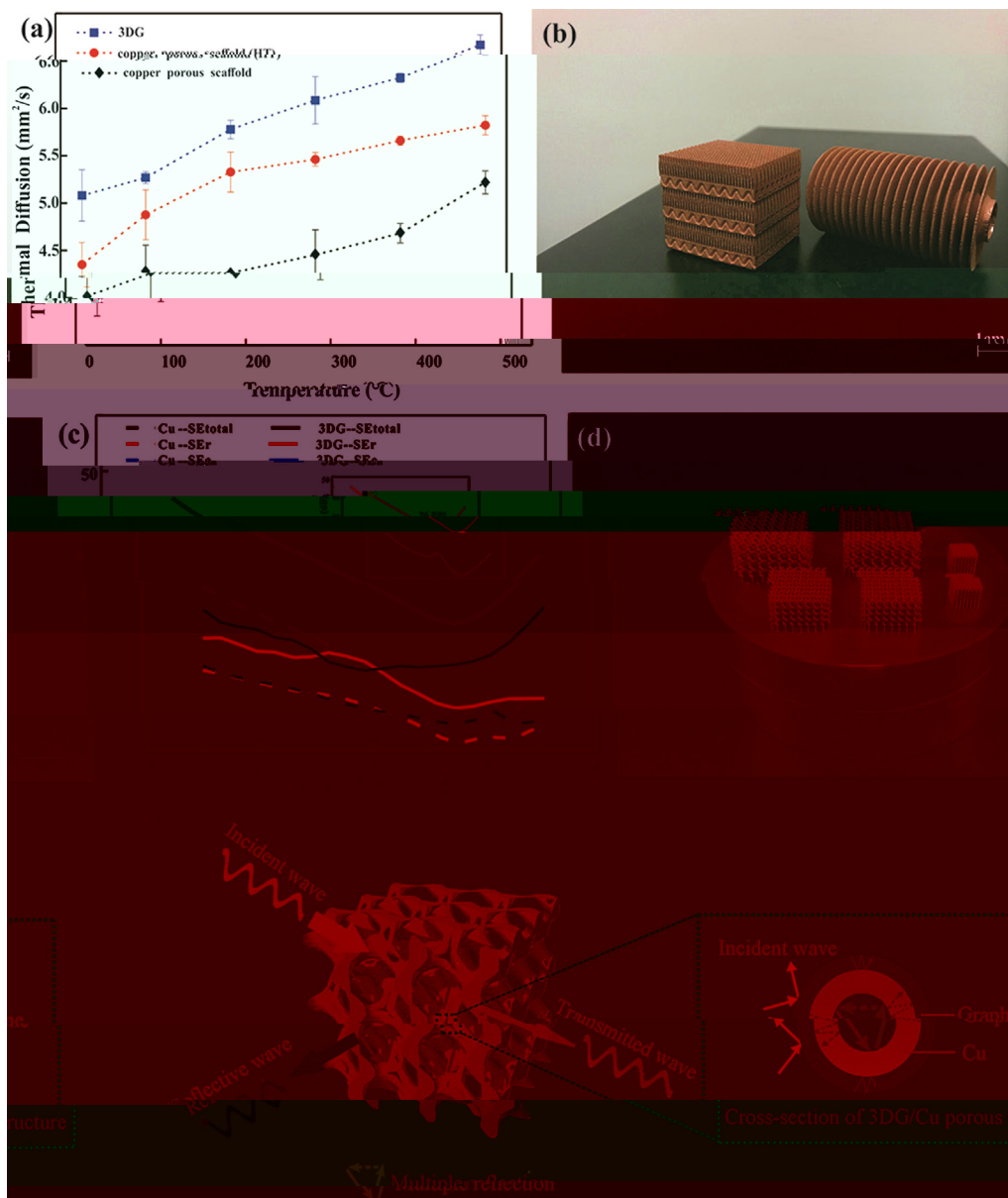


Fig. 9. (a) Thermal Diffusion (mm²/s) vs Temperature (°C) for 3DG (□), copper porous scaffold (○), and copper porous scaffold (HT) (◇). (b) 3D models of 3DG and copper porous scaffold. (c) SEM images of Cu-SEtotal, Cu-SEr, Cu-SEs, 3DG-SEtotal, 3DG-SEr, and 3DG-SEs. (d) Schematic of EM wave interaction with 3DG/Cu porous scaffold showing incident, reflected, and transmitted waves, and multiple reflections.

Table 1

Comparison of maximum shielding efficiency (SE) and improvement of thermal property (%) for various coating materials and methods.

Coating materials	Substrate	Method	Maximum shielding efficiency (dB)	Improvement of thermal property (%)	Ref
G ₂ O ₃ /G ₂ O ₃	G ₂ O ₃	IP + CVD + SLM	37	–	50
G ₂ O ₃	PS	H ₂ O ₂ + CVD	29.3	–	56
G ₂ O ₃	PMMA	S + CVD + SLM	19	–	57
C ₆₀ /G ₂ O ₃ /C ₆₀	Al	S + CVD + SLM	–	8.5	58
G ₂ O ₃	Ni	F + CVD	–	554	59
G ₂ O ₃	C-Ni	E + CVD	20	–	60
G ₂ O ₃	C	P w + CVD	–	2.4	61
G ₂ O ₃	C	F + CVD	47	6.3	62
G ₂ O ₃	C	CVD + SLM	47.8	27	T ₁ w

Note: (□) -PPMA, (○) -PS.

HT
in-situ w (F. 9a). S
 3DG/C ff
 HT
 1-2
 W
 SLM
 fl w (w fl) 500 μm
 (F. 9b),
 G
 (T. 1). I
 O
 T
 EMI, EMI SE, w 3DG/C ff
 (EM) w
 2-18 GHz (F. 9c),
 W *in-situ* w
 ff SE 15.9 32.3 B, w
 47.8 B (88.2%),
 20 B. T
 3DG/C fi w
 J K 44 EMI
 w T EMI SE
 133% w
 (,) 20 110 PPI ().
 R K 45 w EMI
 W
 17 26 PPI (F. 9c insert) 105%
 EMI SE. I w EMI
 ff w SLM. T
 3DG/C 26 PPI EMI SE
 32.3 B, 99.9% EMI w T
 60
 (30 ff) 46 T EMI
 3DG/C w
 T 1. I EMI SE
 3DG/C w
 3D
 T EMI fl (SE_r),
 (SE_a) fl (EM) w 47,
 w
 48 R 49 w
 w, w
 T w EM w
 fi
 50 R EMI
 T
 w w w
 w fi C 51 F
 w
 52 S O₂ 53 W
 3DG/C ff w

SE_r, SE_a, w F. 9e. W w
 w 3DG/C ff
 w w fl w ff S
 3DG/C
 fi
 w w T
 EM w fi w
 w EM w
 SE_r, O
 w ff, w w fi EM
 w ff EM
 T
 ff w
 w J 54 I w
 fi w
 fl ff M
 w
 w fi
 EM w
 EM w T w
 w 44 T
 w 3D EM w w
 I CVD
 R S 3.3
 EM w w
 55 I
 O w
 3DG/C
 fi w fi
 T
 w ff

4. Conclusions

A 3DG/C ff w
in-situ CVD
 T ff W 3DG/C
 EMI SE
 15.9 () 32.3 B,
 47.8 B (88.2%), w 26.8%
 ff T 3DG/C
 ff fl fi
 T EMI
 3DG/C ff
 EMI

Credit authorship contribution statement

Kaka Cheng: C, M, F
 Wei Xiong: V, I, W
 Yan Li: W &, F
 Liang Hao: F
 Chunze Yan: R, F
 Zhaoqing Li: V
 Zhufeng Liu: F
 Yushen Wang: I, S
 Khamis Essa: W &
 Li Lee: D
 Xin Gong: S
 Ton Peijs: W &, S

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no competing interests.

Acknowledgement

The authors thank the following individuals for their contributions: N. N. S. F. C. (N. 51671091, N. 51902295, N. 51675496). T. F. R. F. C. U. C. U. G. (W. N. CUG170677), H. P. N. S. F. C. (N. 2019 CFB264).

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data for this article is available at <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.105904>.

References

- Berg, N., N. M., K. M., S. G., P. M., S. 2018;91:24-69.
- B. AA, G. S, B. W, C. L, T. W. D, M. F, S. 2008;8(3):902-7.
- L. H, C. M, P. W, H. P, O. S, G. 2016;8(36):24112-22.
- K. M, K. J, J. B, C. K, J. H, A. J. H. G. ACS N 2017;11(8):7950-7.
- P. C, M. H, M. T, M. L. D. P. A. C. B 2020;262:118266-76.
- L. X, J. W, C. L, J. S, H. W, G. L. F. C-G. 2017;101:50-8.
- H. Q, L. S, W. C. L, H. J. S, H. H. Q. S. J. M. C. A. 2018;6(42):21216-24.
- D. T, M. S. P, D. P, K. J, K. W. M, A. T. 3D. H. P. C. P. 2017;1(4):467-70.
- Q. L, L. L. T. R. S. C. A. 2014;4(72):38273-80.
- D. X, H. L. S, P. N, W. J. G. 3D. M. S. P. A. 2016;90:424-32.
- L. X, L. X, W. S. C, Q. H, M. K, X. H, L. D. W. S. 3D. W. EM. 201803938.
- L. J, P. X, C. R, G. N. D. G. S. O₂. ACS N 2013;7(7):6001-6.
- J. S, H. A. W. S, G. A. L. W. A. W. C. I. E. 2017;56:15520-38.
- I. T. S. W. K. K. M. T. T. T. K. T. P. C. P. A. 2016;90:424-32.
- S. K, D. N, M. C, V. N, E. J. T. J. E. S. 2002;149(8):370-7.
- C. X, H. S. M, S. W, H. L. G, H. X. Q. P. 3D. S. 2011;7(22):3163-8.
- K. H, G. M, J. I, H. J, W. C. C. M. U. M. 2019;1(4):1077-87.
- S. Q. F. X, L, W, L, H, L. C. A. M. 2017;29(31):1701583-90.
- X. X, G. C, X. L, T. H. D, W. T. ACS N 2019. // /10.1021/9 08191.
- C. C, H. B. X, N. J, C. S, L. F. 3D. T. 6A. 4V. M. D. 2019;175:107824-33.
- S. Š. J, B. Ž. D. T. ff. NB. 316L. SLM. S. C. T. 2016;307:407-17.
- R. DC, HB, L. J, L. S, J. W. R. M. S. E. A. S. 2020;771:138586-95.
- L. X, C. W, A. J, K. S, N. J. D. L. S. 2009;324(5932):1312-4.
- C. P, R. W, C. G. L, B. L, P. S, E. C. H. M. T. N. M. 2011;10:424-8.
- J. S, D, D. S, G. L, K. J, P, H. J, V. K. I. J. M. P. T. 2019;270:47-58.
- X. W, H. L, L. T. D, C. Q, F. Eff. 2019;170:107697-708.
- G. D, M. W, W. K, P. W. R. L. I. M. R. 2013;57(3):133-64.
- L. E, T. S, C. L, F. A. Eff. 316L. (SLM). J. M. P. T. 2017;249:255-63.
- X. S, W. L, J, W. P, C. T. 6A. 4V. A. P. A. M. S. P. 2018;124:685-98.
- L. M. S, D. W, S. C. I. AS 316L. W. M. D. 2015;87:797-806.
- L. CLA, M. S, T. W. M, A. W. RC, W. P, J, L. PD. T. ff. w. A. M. 2019;166:294-305.
- T. X, K. T. W, Q, T. J, D. M, M. D. R. α/β. T. 6A. 4V. S. R. 2016;6:26039-48.
- K. H, T. X, P, L. NH, T. SB, C. CK. G. T. 6A. 4V. V. P. P. 2016;11(3):183-91.
- R. fi. HK, K. NV, G. H, S. TL, S. BE. M. 6. 4. J. M. E. P. 2013;22(12):3872-83.
- T. X, K. T. J, V. G, P. QX, G. A. T. 6A. 4V. J. A. C. 2015;646:303-9.
- R. DA, M. LE, M. H. N. A. M. 2011;59(10):4088-99.
- X. W. H. Eff. C. 2.4N. 0.7S. J. A. C. 2018;743:258-61.
- K. S. W. S. E. 2003;23:309-48.
- L. G. G. J. ff. R. G. N. P. E. C. (111). N. L. 2010;10(9):3512-6.
- L. X, S. C. W, W, C. L. R. ff. R. S. E. W. N. C. X, W, H. S, Q. L. A. C. 2020;161:479-85.
- F. AC, M. J, C. V, C. C, L. M, M. F. R. P. R. L. 2006;97(18):187401-4.
- S. G. J. S, H, F. P, C, H. H. Q. F. M. L. 2017;200:97-100.
- J. K. H. J, C. J, D. F. C. N. W. CNT. A. S. S. 2014;311:351-6.
- R. K, M. DP, A. C, M. S, S. K. E. EMI. C. P. A. 2018;12:475-84.
- S. B, L. W. W. C. (EMI). ACS. A. M. I. 2016;8(12):8050-7.
- L. N, H. D. F, H. X, L. X, G. W. 0-1. 56020T. 9(85). XJ9.3. S.

M 2019;34(5):489–98.

53 W B, C M, L M. R. *Composites Part A* 2014;26:3484–9.

54 C H, W S, J J, X C, J S. *Composites Part A* 2019;121:139–48.

55 W L, J Q, T ff MWCNT. *Composites Part A* 2015;26(3):1895–9.

56 D X, P GR, H P, Q F, M B. *Composites Part A* 2012;22:1877–4.

57 HB, Q, WG, H X, T. *Composites Part A* 2011;3:918–24.

58 S A, U N, T V. T. *Composites Part A* 2016. [:// doi.org/10.1051/compta/2016021](https://doi.org/10.1051/compta/2016021).

59 P MT, J H, R ff RS, S L. T. *Composites Part A* 2012;12:2959–64.

60 J K, H, H, D P. *Composites Part A* 2017;122:244–7.

61 R H, L S, B S, K TW, L DS, L HJ, T. *Composites Part A* 2015. [:// doi.org/10.1038/nmat12710](https://doi.org/10.1038/nmat12710).

62 XT, F SG, L G, Q, L G, R KP, S. *Composites Part A* 2020. [:// doi.org/10.1016/j.compta.2019.105670](https://doi.org/10.1016/j.compta.2019.105670).

63 R DA, M LE, M E, H DH, M JL, M BI, N. *Composites Part A* 2011;59(10):4088–99.

64 E SF, L KG, S VK, M IC. T. *Composites Part A* 1973;1(1):10–38.