

**PENGARUH PENAMBAHAN NiO TERHADAP KARAKTERISTIK
KERAMIK $ZnFe_2O_4$ UNTUK TERMISTOR NTC DENGAN METODE
SOL-GEL**

SKRIPSI

diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

Departemen Pendidikan Fisika Program Studi Fisika

Konsentrasi Fisika Material



Oleh

Erlia Wiky Rohani Simatupang

1900491

PROGRAM STUDI FISIKA

FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA

2023

**PENGARUH PENAMBAHAN NiO TERHADAP KARAKTERISTIK
KERAMIK ZnFe₂O₄ UNTUK TERMISTOR NTC DENGAN METODE
SOL-GEL**

Oleh:

Erlia Wiky Rohani Simatupang

diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Departemen Pendidikan Fisika Program Studi Fisika
Konsentrasi Fisika Material

© Erlia Wiky Rohani Simatupang

Universitas Pendidikan Indonesia

Agustus 2023

Hak cipta dilindungi Undang-undang

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak atau sebagian, dengan dicetak ulang,
difotokopi atau cara lainnya tanpa izin penulis

LEMBAR PENGESAHAN

ERLIA WIKY ROHANI SIMATUPANG

PENGARUH PENAMBAHAN NiO TERHADAP KARAKTERISASI
KERAMIK $ZnFe_2O_4$ UNTUK TERMISTOR NTC DENGAN METODE SOL-
GEL

disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

Pembimbing I



Prof. Dr. Dani Gustaman Syarif, M.Eng.
NIP. 196105221984031002

Pembimbing II



Prof. Dr. Endi Suhendi, M.Si.
NIP. 197905012003121001

Mengetahui
Ketua Program Studi Fisika



Prof. Dr. Endi Suhendi, M.Si.
NIP. 197905012003121001

ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN NiO TERHADAP KARAKTERISTIK KERAMIK ZnFe₂O₄ UNTUK TERMISTOR NTC DENGAN METODE SOL-GEL

Oleh

Erlia Wiky Rohani Simatupang

NIM 1900491

(Program Studi Fisika)

Termistor NTC (*Negative Temperature Coefficient*) merupakan salah satu jenis termistor yang banyak diminati untuk penelitian lebih lanjut karena memiliki karakteristik yang khas, yaitu tahanannya akan menurun ketika dipanaskan dan akan meningkat ketika didinginkan. Pada penelitian ini, dilakukan investigasi lebih lanjut mengenai termistor NTC berbahan dasar ZnFe₂O₄. Material ZnFe₂O₄ disintesis menggunakan metode sol-gel dengan variasi penambahan material NiO, yaitu komposisi 1 (0% mol NiO), komposisi 2 (10% mol NiO) dan komposisi 3 (30% mol NiO). Selanjutnya, material tersebut dibentuk menjadi pelet melalui proses sintering pada suhu 1100 °C selama 3 jam. Beberapa karakterisasi dilakukan sebagai pendukung terhadap hasil penelitian, diantaranya XRD, SEM, dan sifat listrik. Karakterisasi XRD menginformasikan puncak struktur spinel terbaik di komposisi 3, sedangkan komposisi 1 tidak terbentuk spinel dan tidak dapat dibandingkan dengan komposisi lainnya. Selain itu, hasil karakterisasi struktur morfologi menggunakan SEM untuk menentukan ukuran butir di setiap masing-masing komposisi. Ukuran butir komposisi 1 memiliki ukuran butir Fe₂O₃ sebesar 40.587 μm, sedangkan pada komposisi 2 dan 3 memiliki ukuran butir ZnFe₂O₄ sebesar 31.824 μm dan 25.211 μm. Selanjutnya hasil karakterisasi sifat listrik menunjukkan bahwa setiap masing-masing komposisi memiliki konstanta termistor sebesar 5751.2 °K, 5026.5 °K dan 5639.4 °K. Keramik ZnFe₂O₄ memiliki karakterisasi yang baik pada penambahan 30% NiO, karena memiliki nilai konstanta termistor dan sensitivitas yang memenuhi syarat harga pasaran dalam pembuatan termistor NTC.

Kata kunci: ZnFe₂O₄; NiO; Termistor NTC; XRD; SEM

ABSTRACT

THE EFFECT OF ZnFe₂O₄ CERAMIC CHARACTERISTICS FOR NTC THERMISTORS BY ADDING NiO WITH THE SOL-GEL METHOD

by

Erlia Wiky Rohani Simatupang

NIM 1900491

(Physics Study Program)

The NTC (Negative Temperature Coefficient) thermistor is a type of thermistor that is in great demand for further research due to it has a typical characteristic, namely its resistance will decrease when heated and will increase when cooled. In this study, further investigation was carried out regarding the NTC thermistor made from ZnFe₂O₄. ZnFe₂O₄ material was synthesized using the sol-gel method with variations in the addition of NiO material, namely composition 1 (0 mol% NiO), composition 2 (10% mol NiO) and composition 3 (30% mol NiO). Furthermore, the material is formed into pellets through a sintering process at 1100 °C for 3 hours. Several characterizations were carried out to support the research results, including XRD, SEM, and electrical properties. The result of the XRD characterization shown the best spinel structure peaks in the composition 3, while the composition 1 did not form the spinels and could not be compared with other compositions. In addition, the results of the characterization of the morphological structure using SEM to determine the grain size in each composition. The grain size of composition 1 has a grain size of 40,587 μm Fe₂O₃, while compositions 2 and 3 have grain sizes of ZnFe₂O₄ of 31,824 μm and 25,211 μm. Furthermore, the results of the characterization of the electrical properties show that each composition has a thermistor constant of 5751.2 °K, 5026.5 °K and 5639.4 °K. ZnFe₂O₄ ceramic has good characterization at the addition of 30% NiO, due to it has a thermistor constant value and sensitivity that meets market price requirements in the manufacture of NTC thermistors.

Keywords: ZnFe₂O₄; NiO; NTC thermistor; XRD; SEM

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah Penelitian.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Termistor	5
2.1.1 Termistor NTC	5
2.1.2 Termistor PTC	6
2.2 Keramik ZnFe ₂ O ₄	7
2.2.1 Karakteristik	8
2.2.1.1 Kristal.....	8
2.2.1.2 Morfologi.....	9
2.2.1.3 Listrik (B), (ρ) dan (α)	10
2.2.2 Aplikasi ZnFe ₂ O ₄ untuk Termistor	11
2.3 Teknik Analisis	12
2.3.1 Struktur Kristal.....	12
2.3.2 Struktur Morfologi.....	14
2.3.3 Sifat Listrik	15
BAB III METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Diagram Alir Penelitian	18

3.2	Sintesis Material	19
3.2.1	Persiapan Bahan Serbuk	20
3.2.2	Proses Pelarutan Bahan Serbuk	21
3.2.3	Proses Pencampuran Larutan.....	21
3.2.4	Proses pemanasan	22
3.2.5	Proses kalsinasi serbuk sintesis	23
3.3	Preparasi Pelet	23
3.3.1	Proses kompaksi (pengepresan pelet).....	23
3.3.2	Sintering.....	25
3.3.3	Pengukuran Tebal dan Diameter Pelet	26
3.3.4	Pelapisan Perak Pada Kedua Sisi Pelet.....	26
3.3.5	Kalsinasi	28
3.4	Karakterisasi.....	29
3.4.1	Karakterisasi XRD (X-Ray Diffraction).....	29
3.4.2	Karakterisasi SEM (Scanning Electron Microscope).....	29
3.4.3	Karakterisasi Sifat Listrik	29
3.5	Tempat Penelitian.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		31
4.1	Karakterisasi XRD	31
4.2	Karakterisasi SEM.....	33
4.3	Karakterisasi Sifat Listrik.....	35
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		41
5.1	Kesimpulan.....	41
5.2	Implikasi.....	41
5.3	Rekomendasi	41
DAFTAR PUSTAKA.....		42
LAMPIRAN 1 ALAT DAN BAHAN.....		48
LAMPIRAN 2 OLAHAN SERBUK.....		51
LAMPIRAN 3 KARAKTERISASI XRD		53
LAMPIRAN 4 KARAKTERISASI SEM		54
LAMPIRAN 5 KARAKTERISASI SIFAT LISTRIK		58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan termistor NTC.....	6
Tabel 3.1 Persiapan serbuk olahan $ZnFe_2O_4$ dalam penambahan NiO	20
Tabel 3.2 Alat yang digunakan pada persiapan bahan serbuk	20
Tabel 3.3 Alat yang digunakan pada proses pelarutan bahan serbuk	21
Tabel 3.4 Bahan yang digunakan pada proses pelarutan bahan serbuk	21
Tabel 3.5 Persiapan bahan glukosa ($C_6H_{12}O_6$).....	22
Tabel 3. 6 Alat yang digunakan pada proses pencampuran	22
Tabel 3.7 Alat yang digunakan pada proses pemanasan.....	23
Tabel 3.8 Alat yang digunakan pada proses kalsinasi serbuk sintesis	23
Tabel 3.9 Alat yang digunakan pada proses kompaksi (pengepresan)	24
Tabel 3.10 Alat yang digunakan pada proses pengukuran tebal dan diameter	26
Tabel 3.11 Alat yang digunakan pada proses pelapisan perak.....	27
Tabel 3.12 Bahan yang digunakan pada proses pelapisan perak	28
Tabel 3.13 Alat yang digunakan pada proses kalsinasi.....	29
Tabel 4.1 Ukuran butir komposisi 1,2 dan 3.....	35
Tabel 4.2 Data resistivitas listrik dari komposisi 1, 2 dan 3	37
Tabel 4.3 Harga konstanta termistor pada komposisi 1, 2 dan 3	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik intensitas terhadap 2θ pada fase tunggal $ZnFe_2O_4$ (Mallick dkk., 2023)	8
Gambar 2.2 Struktur 3D kristalografi $ZnFe_2O_4$ $x = 0.125$ (Granone dkk., 2019)...	9
Gambar 2.3 Hasil karakterisasi mikroskop keramik untuk aplikasi termistor NTC (a) $Mn_{1.1}Ni_{1.4}Co_{0.5}O_4$ dan (b) $Zn_{0.5}Ni_{0.4}Co_{0.4}Mn_{1.3}Cu_{0.4}O_4$ (Teichmann & Töpfer, 2022) (Park & Han, 2006).....	10
Gambar 2.4 Terjadinya peristiwa sinar-X (Singh, 2019).....	12
Gambar 2.5 Pantulan sinar-X dalam kisi kristal (Adiguna, 2021).....	13
Gambar 2.6 Grafik hubungan hambatan (R) terhadap temperatur (T) pada termistor NTC (Khairani & Ratnawulan, 2019)	16
Gambar 2.7 Grafik $\ln \rho$ terhadap $1/T$ (Mallick dkk., 2023).....	16
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	18
Gambar 3.2 Diagram alir sintesis $ZnFe_2O_4$ dengan variasi penambahan NiO dengan menggunakan metode sol-gel	19
Gambar 3.3 <i>Press hydraulic</i>	24
Gambar 3.4 Tungku sintering	25
Gambar 3.5 Skema grafik sintering suhu $100^\circ C$ selama 3 jam.....	25
Gambar 3.6 (a) Jangka sorong dan (b) Mikrometer	26
Gambar 3.7 (a) Pelet sebelum dilapisi perak dan (b) pelet sudah dilapisi perak ..	27
Gambar 3.8 Tungku untuk kalsinasi	28
Gambar 4.1 Grafik XRD komposisi 1, 2 dan 3.....	31
Gambar 4.2 Struktur morfologi perbesaran $2000\times$ (a) Komposisi 1 (b) Komposisi 2 dan (c) Komposisi 3.	34
Gambar 4.3 Grafik hubungan R terhadap T pada komposisi 1, 2 dan 3.	36
Gambar 4.4 Grafik hubungan $\ln \rho$ terhadap $1/T$ pada komposisi 1, 2 dan 3	38

DAFTAR PUSTAKA

- Adiguna. (2021). Karakterisasi Pasir Kuarsa (SiO₂) dengan Metode XRD. *Buletin Utama Teknik*, 16(2), 89–93.
- Aliah, H., Iman, R. N., Sawitri, A., Syarif, D. G., Setiawan, A., Darmalaksana, W., & Malik, A. (2019). The optimization of ZnFe₂O₄/Mn₂O₃-based nanocomposite ceramic fabrication utilizing local minerals as an ethanol gas detector. *Materials Research Express*, 6(9). <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab2ffe>
- Aningratri, I. P., Nazriati, N., & Syarif, D. G. (2021). Synthesis of NTC thermistors with screen printing method from natural yarosite minerals. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1053(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1053/1/012012>
- Appiah-ntiamoah, R., Baye, A. F., Gadisa, B. T., Abebe, M. W., & Kim, H. (2019). *In-situ prepared ZnO-ZnFe₂O₄ with 1-D nano fiber network structure : An effective adsorbent for toxic dye effluent treatment*. 373(October 2018), 459–467. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.03.108>
- Asmin, L. O., Mutmainnah, & Suharyadi, E. (2015). Metode Kopresipitasi Dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 16(3), 62–66.
- Denny, Y. R. (2016). Pengaruh Frit Gelas Terhadap Karakteristik Keramik Film Tebal FeTiO₃ dari Mineral Yarosit untuk Aplikasi Termistor NTC. *Setrum : Sistem Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, 3(1), 8. <https://doi.org/10.36055/setrum.v3i1.493>
- Dhaouadi, F., Sellaoui, L., Chávez-González, B., Elizabeth Reynel-Ávila, H., Diaz-Muñoz, L. L., Mendoza-Castillo, D. I., Bonilla-Petriciolet, A., Lima, E. C., Tapia-Picazo, J. C., & Lamine, A. Ben. (2021). Application of a heterogeneous physical model for the adsorption of Cd²⁺, Ni²⁺, Zn²⁺ and Cu²⁺ ions on flamboyant pods functionalized with citric acid. *Chemical Engineering*

- Journal*, 417(November). <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127975>
- Fauzi, A., & Widodo, H. (2022). *Pengaruh Dopan Zn Pada Bahan Barium Heksaferit Terhadap Ukuran Kristal Dan Sifat Magnetik*. 7(1), 2657–1900.
- Gao, C., Li, Z., Yang, L., Peng, D., & Zhang, H. (2021). Investigation of electrical and aging properties of Bi-modified ($Zn_{0.4}Ni_{0.6}$) $1-xNa_xO$ ceramic thermistors. *Journal of the European Ceramic Society*, 41(7), 4160–4166. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2021.02.030>
- Granone, L. I., Dillert, R., Heitjans, P., & Bahnemann, D. W. (2019). Effect of the Degree of Inversion on the Electrical Conductivity of Spinel $ZnFe_2O_4$. *ChemistrySelect*, 4(4), 1232–1239. <https://doi.org/10.1002/slct.201804062>
- Guan, F., Dang, Z., Wu, Y., Cheng, X., & Huang, S. (2021). Journal of the European Ceramic Society sandwich-like structure. *Journal of the European Ceramic Society*, 41(8), 4490–4495. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2021.02.031>
- KA Herastuti. (2016). Studi Analisis Pengaruh Variasi Ukuran Butir batuan terhadap Sifat Fisik dan Nilai Kuat Tekan. *Journal.Itny.Ac.Id*. <https://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/516>
- Khairani, A. F., & Ratnawulan. (2019). Pembuatan dan karakterisasi listrik keramik $ZnFe_2O_4$ dengan doping TiO_2 untuk termistor dengan teknik pressing. *Jurnal Pillar of Physics*, 12(1), 77–84. <http://ejournal.unp.ac.id/students/index.php/fis/article/view/6315/3221>
- Liu, T. (2020). *Novel thermal - sensitive properties of NBT - BZT composite ceramics for high - temperature NTC thermistors*. August 2019, 48–53. <https://doi.org/10.1111/jace.16774>
- Ma, C. (2023). $(1-x)Mn_{1.56}Co_{0.96}Ni_{0.48}O_4/xLaMnO_3$ ($0.1 \leq x \leq 0.9$): A composite NTC thin film with low resistance, high sensitivity and strong light absorption. *Ceramics International*, 3(May), 1–7.

<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.06.098>

Mallick, P., Naik, A. U., Mohanty, D., Satpathy, S. K., & Biswal, L. (2023). Synthesis and analysis of structural, dielectric, and thermistor behaviour of zinc ferrite. *Chemical Physics Impact*, 6(April), 100217. <https://doi.org/10.1016/j.chphi.2023.100217>

MSDS. (2018). 1 of 4. *Group*, 7(iii), 15–18.

Muchenedi, H. K., Pongali Sathya Prabu, N., & Madhu Mohan, M. L. N. (2020). Fabrication of Ferroelectric Liquid Crystal Thermistor. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 67(11), 5063–5068. <https://doi.org/10.1109/TED.2020.3020292>

Park, K., & Han, I. H. (2006). Effect of Cr₂O₃ addition on the microstructure and electrical properties of Mn-Ni-Co oxides NTC thermistors. *Journal of Electroceramics*, 17(2–4), 1069–1073. <https://doi.org/10.1007/s10832-006-8317-6>

Paul, T. C., Babu, M. H., Podder, J., Dev, B. C., Sen, S. K., & Islam, S. (2021). Influence of Fe³⁺ ions doping on TiO₂ thin films: Defect generation, d-d transition and band gap tuning for optoelectronic device applications. *Physica B: Condensed Matter*, 604, 412618. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2020.412618>

Sari, P., Syarif, D. G., & Wiendartun, W. (2016). Pengaruh Suhu Pembakaran terhadap Karakteristik Listrik Keramik Film Tebal Berbasis Fe₂O₃–MnO–ZnO untuk Termistor NTC. *Wahana Fisika*, 1(2), 111. <https://doi.org/10.17509/wafi.v1i2.4536>

Sekulić, D. L., Lazarević, Z., Jovalekić, Rečnik, A., Romčević, M., Hadžić, B., & Romčević, N. (2014). The comparative study of the structural and the electrical properties of the nano spinel ferrites prepared by the soft mechanochemical synthesis. *Science of Sintering*, 46(2), 235–245. <https://doi.org/10.2298/SOS1402235S>

- Simbolon, T. R., Sembiring, T., Hamid, M., Hutajulu, D. A., Rianna, M., Sebayang, A. M. S., Tetuko, A. P., Setiadi, E. A., Ginting, M., & Sebayang, P. (2021). Preparation and characterization of ZnFe₂O₄ on the microstructures and magnetic properties. *Journal of Aceh Physics Society*, *10*(2), 32–35. <https://doi.org/10.24815/jacps.v10i2.18710>
- Singh, J. (2019). *Characteristic and Continuous X-rays*. 1–5.
- Suppuraj, P., Thirunarayanan, G., Swaminathan, M., & Muthuvel, I. (2017). Facile Synthesis of Spinel Nanocrystalline ZnFe₂O₄: Enhanced Photocatalytic and Microbial Applications. *Materials Science and Applied Chemistry*, *34*(1), 4–11. <https://doi.org/10.1515/msac-2017-0001>
- Suryanarayana, C., & Norton, M. G. (1998). Lattices and Crystal Structures. In *X-Ray Diffraction*. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0148-4_2
- Syarif, Dani Gustaman, Henny, Suhandi, A. (2006). *Studi Aplikasi Keramik ZnBiCo sebagai Termistor NTC*.
- Syarif, D. G., Sambodo, G. D., Hidayat, S., Yamin, M., Setiadi, Y., & Armanu. (2007). Pembuatan keramik dari bahan manganit dan karakterisasi listriknya sebelum dan sesudah iradiasi gamma. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, *8*, 1411–3481. <https://jurnal.batan.go.id/index.php/jstni/article/view/2161/2047>
- Teichmann, C., & Töpfer, J. (2022). Sintering and electrical properties of Cu-substituted Zn-Co-Ni-Mn spinel ceramics for NTC thermistors thick films. *Journal of the European Ceramic Society*, *42*(5), 2261–2267. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2021.12.078>
- Thakur, N., & Murthy, H. (2021). Nickel-Based Inks for Inkjet Printing: A Review on Latest Trends. *American Journal of Materials Science*, *2021*(1), 20–35. <https://doi.org/10.5923/j.materials.20211101.03>
- Widodo, S. (2020). *TEKNOLOGI PEMBUATAN SENG OKSIDA (ZnO) NANO PARTIKEL SEBAGAI BAHAN AKTIF PADA SENSOR GAS DENGAN*

METODE SOL GEL. 14(1), 43–49.

- Wiendartun, Gustaman Syarif, D., Suhendi, E., Setiawan, A., & D.S., G. (2013). KARAKTERISASI KERAMIK CuFe_2O_4 UNTUK TERMISTOR NTC. *Jurnal Fisika FMIPA Universitas Pendidikan Indonesia*, 1–15.
- Wiendartun, Syarif, D. G., & Purmansyah, F. (2010). Synthesis and characterization of SiO_2 added- ZnFe_2O_4 ceramics for negative temperature coefficient (NTC) thermistors. *PPI - PDIPTN*, 68–72.
- Xie, J., Liu, X., Jing, S., Pang, C., Liu, Q., & Zhang, J. (2021). Chemical and Electronic Modulation via Atomic Layer Deposition of NiO on Porous In_2O_3 Films to Boost NO_2 Detection. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 13(33), 39621–39632. <https://doi.org/10.1021/acsami.1c11262>
- Yunasfi, Nurfadilah, S., Mashadi, & Adi, W. A. (2018). ANALISIS DAN KARAKTERISASI Zn. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, 19(2), 53–60.
- Zeng, Y., Li, Z., Gao, C., Jiang, G., & Zhang, H. (2021). *Electrical conductivity and temperature sensitivity of Cu / Mo co-modified YFeO_3 ceramics*. 195–201.
- Zhao, Y., Xie, Y., Yao, J., Tang, X., Wang, J., & Chang, A. (2020). NTC thermo-sensitive ceramics with low B value and high resistance at low temperature in Li-doped $\text{Mn}_{0.6}\text{Ni}_{0.9}\text{Co}_{1.5}\text{O}_4$ system. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31(2), 1403–1410. <https://doi.org/10.1007/s10854-019-02654-6>
- Zhou, J., Zhang, Z., Kong, X., He, F., Zhao, R., Wu, R., Wei, T., Wang, L., & Feng, J. (2020). Applied Surface Science A novel P-N heterojunction with staggered energy level based on ZnFe_2O_4 decorating SnS_2 nanosheet for efficient photocatalytic degradation. *Applied Surface Science*, 510(November 2019), 145442. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145442>
- Zhu, X., Cao, C., Su, S., Xia, A., Zhang, H., Li, H., Liu, Z., & Jin, C. (2021). A

comparative study of spinel ZnFe₂O₄ ferrites obtained via a hydrothermal and a ceramic route: Structural and magnetic properties. *Ceramics International*, 47(11), 15173–15179. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.02.077>