

Chương 1. TỔNG QUAN VỀ NGHIÊN CỨU

1.1. TỔNG QUAN VỀ VẬT LIỆU

1.1.1. Vật liệu Nickel nanoparticles (NiNPs)

Trong những năm gần đây, việc điều chế, ứng dụng của các vật liệu có kích thước nano nhận được sự quan tâm ngày càng tăng của nhiều nhà nghiên cứu trong các lĩnh vực khác nhau. Các hạt nano thường thể hiện các tính chất điện tử, quang học, từ tính và hóa học đặc biệt đáng kể so với các vật liệu có kích thước lớn. Nhờ có kích thước cực nhỏ và diện tích bề mặt riêng lớn, nên chúng có nhiều ứng dụng tiềm năng như xúc tác, điện tử, thiết bị quang và cơ học, phương tiện ghi từ tính, chất siêu dẫn, vật liệu kỹ thuật hiệu suất cao, thuốc nhuộm, bột màu, chất kết dính, vận chuyển thuốc, ... (Chen & Wu, 2000).

Nickel là một vật liệu từ tính nổi tiếng, có ứng dụng tiềm năng trong môi trường lưu trữ, chắn nhiễu điện từ, xúc tác và điều trị lâm sàng (Xia & Wen, 2016).

Tác giả Wu và cộng sự (Wu, Munoz, & Montero, 2010) đã nghiên cứu rằng, việc tổng hợp vật liệu nano kim loại là khá khó khăn vì chúng dễ bị oxy hóa và có nhiều cách khác nhau để điều chế vật liệu này phụ thuộc vào các đặc tính mong muốn, ứng dụng và khía cạnh kinh tế. Phương pháp khử hóa học từ dung dịch muối kim loại cùng các tác nhân khử mạnh có thể là cách tốt nhất để điều chế vật liệu nano Ni.

Theo Jaji, quá trình tổng hợp các hạt nano Ni gặp khó khăn trong việc khử Ni^{2+} thành Ni (0) ở nhiệt độ phòng. Các hạt nano Ni dễ bị oxy hóa trong không khí. Bên cạnh đó, theo tác giả Chen và Hsieh (Chen & Hsieh, 2002), các hạt nano Ni tinh khiết trong môi trường phi từ tính trải qua quá trình oxy hóa. Mặc dù hiệu suất xúc tác điện cao, nhưng độ ổn định kém của nó đặt ra một thách thức. NiNPs phải được sử dụng ngay sau khi tổng hợp để tránh chuyển đổi thành các hợp chất Ni như oxit và hydroxit (Jaji et al., 2020).

Đối với phương pháp khử hóa học, tác giả Chandra và cộng sự (Chandra, Kumar, & Tomar, 2014) đã dùng benzildietiethylenetriamine (0.004 mol) làm chất khử. Bên cạnh đó, tác giả Wu và cộng sự (Wu et al., 2010) dùng hydrazine hydrate là chất khử.

Ngoài ra, trong nghiên cứu của P.Liu và cộng sự, ở đây người ta dùng màng PVDF được phủ đầy NiNWs cho thấy hiệu quả che chắn lên đến 43dB với 9% NiNWs, cho thấy tiềm năng ứng dụng tuyệt vời của nó trong thiết bị điện tử ngày nay.

Có nhiều phương pháp để tổng hợp hạt nano nickel, trong đó phương pháp khử hóa học là phương pháp hấp dẫn hơn vì nó đơn giản, dễ xử lý, ít sản phẩm phụ và chi phí thấp, khả thi cho ứng dụng vào sản xuất (P. Liu, Li, Zhao, Yadian, & Zhang, 2009). Ngoài ra, phương pháp wet chemical bao gồm thủy nhiệt, khử và xúc tác. Phương pháp này hạn chế yêu cầu về điều kiện phản ứng, dễ dàng cho việc sản xuất quy mô lớn. Cách này được sử dụng và nghiên cứu rộng rãi trong giới học thuật vì tính dễ dàng và linh hoạt của nó (Bensebaa, 2013).

Các báo cáo tài liệu cho thấy rằng màng film EMI có hiệu quả chắn nhiễu điện từ (SE) 30 dB có thể làm giảm đến 99.9% tình trạng nhiễu điện từ và được coi là mức độ chắn nhiễu phù hợp cho nhiều ứng dụng (Gargama, Thakur, & Chaturvedi, 2015). Cho thấy tiềm năng ứng dụng của nickel trong việc chắn nhiễu điện từ ngày nay.

Trong phạm vi đề tài, vật liệu nano nickel sẽ được bằng tổng hợp bằng phương pháp wet chemical dùng hydrazine hydrat làm chất khử (Kong, Pang, & Chin, 2015).

1.1.2. Hydrogel

Hydrogel là polymer, cấu trúc mạng hấp thụ và giữ một lượng nước khổng lồ do trong đó có các nhóm ưa nước (Akhtar, Hanif, & Ranjha, 2016), là mạng lưới polymer ba chiều có chức năng mô phỏng sinh học khi trương nở nên thường được khám phá để sử dụng trong nhiều ứng dụng sinh học và y sinh (Gyles, Castro, Silva, & Ribeiro-Costa, 2017).

Định nghĩa được sử dụng phổ biến nhất cho hydrogel - là mạng polymer trương nước, được tạo ra bởi phản ứng đơn giản của một hoặc nhiều đơn vị monome/ polymer/ liên kết chéo. Một mô tả nữa là “vật liệu polymer thể hiện khả năng trương nở và giữ một lượng nước lớn trong mạng lưới ba chiều của nó, tuy nhiên nó không bị hòa tan trong nước” (S. Sharma & S. Tiwari, 2020).

Hydrogel có thể được tổng hợp từ các polyme tự nhiên, polyme tổng hợp, các monome tổng hợp có thể trùng hợp và sự kết hợp giữa các polyme tự nhiên và tổng hợp. Quá trình tổng hợp hydrogel liên quan đến liên kết vật lý, hóa học và hybrid bonding.

Liên kết được hình thành thông qua các con đường khác nhau, chẳng hạn như đúc khuôn dung dịch (solution cast), trộn dung dịch, trùng hợp khối (bulk polymerization), cơ chế gốc tự do, phương pháp bức xạ và hình thành mạng lưới xuyên thấu (interpenetrating network formation) (Bashir et al., 2020).

Là vật liệu với khả năng hấp thụ nước vượt trội, hydrogel đang được nghiên cứu để khám phá các nguyên tắc cơ bản của mạng lưới polyme trương nở và cũng có ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực kỹ thuật, chẳng hạn như vật liệu tách protein và ứng dụng trong nền công nghiệp kính áp tròng (Akhtar et al., 2016). Do các đặc tính đặc biệt, chẳng hạn như khả năng phân hủy sinh học, khả năng tương thích sinh học, tính ưa nước, khả năng siêu hấp thụ, độ nhớt, độ mềm và độ mịn, hydrogel đóng vai trò chính trong các ứng dụng y sinh. Ngoài ra, hydrogel còn phản ứng với các kích thích khác nhau, chẳng hạn như nhiệt độ, điện trường, từ trường, phân tử sinh học và cường độ ion. Nhiều hydrogel có khả năng tăng thời gian tồn tại của thuốc do đặc tính kết dính niêm mạc và kết dính sinh học giúp chúng trở thành ứng cử viên phù hợp làm chất mang thuốc. Gần đây, hydrogel đã thu hút được sự chú ý đặc biệt cho các ứng dụng lưu trữ và chuyển đổi năng lượng nhờ pha bán rắn và tính linh hoạt vốn có của chúng (Bashir et al., 2020).

Đây là một họ vật liệu sinh học, có chức năng sinh học được ứng dụng trong y tế, sinh học (Kopeček, 2007). Hydrogel là một polymer có mạng lưới không gian 3D, trương nước (water-swollen), có liên kết chéo (cross-linked) và không hòa tan trong nước (S. Sharma & S. J. I. j. o. b. m. Tiwari, 2020).

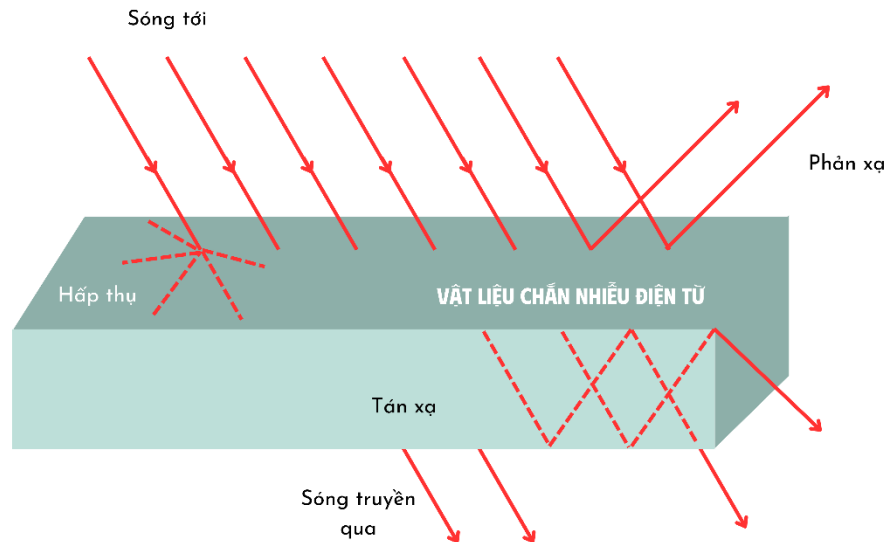
Với tính linh hoạt cơ học tốt, thậm chí khả năng co giãn cao, hydrogel có lợi cho nhiều ứng dụng, đặc biệt là trong chắn nhiễu điện từ EMI (Yunfei Yang, Han, Liu, Wu, & Liu, 2022). Ngoài ra, hydrogel còn khả năng thích ứng và tạo hình dễ dàng cùng với khả năng tự phục hồi nhanh thể hiện được tính linh hoạt của chúng. Thú vị hơn, hiệu suất che chắn của hydrogel cho thấy tính năng hấp thụ vượt trội do sự kết hợp của cấu trúc xốp, độ dẫn điện vừa phải và môi trường giàu nước bên trong cho hiệu suất chắn nhiễu điện từ cao (Zhu et al., 2021).

Hydrogel kết hợp với vật liệu có chức năng dẫn điện với tính linh hoạt cơ học tốt, độ bền và thậm chí khả năng co giãn cao, có lợi cho nhiều ứng dụng, đặc biệt là trong chắn nhiễu điện từ (Yunfei Yang et al., 2022).

1.2. VẬT LIỆU CHẮN NHIỄU ĐIỆN TỪ (EMI)

Vật liệu chắn nhiễu điện từ (EMI) là loại vật liệu được tổng hợp nhằm mục đích bảo vệ các tín hiệu phát ra từ thiết bị điện tử, tránh bị nhiễu bởi tín hiệu bên ngoài, đồng thời ngăn chặn sự ảnh hưởng của các tín hiệu này đến hoạt động của thiết bị điện tử khác (González, Pozuelo, & Baselga, 2018; D. Jiang et al., 2019; Langguth, 2006). Nhiễu điện từ xảy ra khi các tín hiệu từ các thiết bị điện tử “gặp nhau”, ảnh hưởng đến hiệu suất hoạt động. Đường đi của nhiễu điện từ sẽ bị đổi hướng khi bị hấp thụ hoặc phản xạ thông qua các vật liệu dẫn điện hay vật liệu EMI. Các vật liệu EMI ngoài tác dụng hấp thụ và phản xạ nhiễu điện từ, còn có tác dụng ngăn chặn những tần số sóng không cần thiết, từ đó bảo vệ con người trước những nhiễu điện từ có hại (Iqbal, Sambyal, & Koo, 2020) .

Chắn nhiễu điện từ là tổng của sự hấp thụ, phản xạ và nhiễu xạ, để có khả năng chắn nhiễu tốt, vật liệu phải phản xạ hoặc hấp thụ sóng (Akyıldız & Durmaz, 2022). Cơ chế hoạt động của vật liệu chắn nhiễu điện từ ở **Hình 1.1** có thể được giải thích như sau: khi sóng điện từ truyền đến vật liệu chắn, một phần của nó bị phản xạ trở lại và phần còn lại đi vào vật liệu. Bên trong vật liệu xảy ra hiện tượng tán xạ. Cuối cùng, các sóng điện từ còn lại truyền qua vật liệu. Trong quá trình này, sự suy giảm của sóng điện từ bởi vật liệu chắn là do sự hấp thụ, phản xạ và tán xạ bên trong. Hiệu quả chắn nhiễu điện từ (EMI SE) được sử dụng để thể hiện hiệu suất của vật liệu chắn nhiễu (Yin et al., 2021).



Hình 1.1. Sơ đồ cơ chế che chắn điện từ

Vật liệu có khả năng chắn nhiễu điện từ phải là vật liệu mang điện tích tự do (electron hoặc lỗ trống), tương tác với trường điện từ trong bức xạ. Do đó, EMI phải dẫn điện. Hiệu quả của việc chắn nhiễu bằng cách tăng độ hấp thụ khi có từ tính trong tấm chắn có khả năng tương tác với bức xạ EM. Vật liệu có khả năng tán xạ tốt thể hiện điện tích bề mặt riêng cao (vật liệu foam hoặc xốp, hoặc có diện tích bề mặt riêng lớn). Biên độ của bức xạ tới bị suy giảm bởi nhiều phản xạ bên trong vật liệu chắn nhiễu. Cường độ của sóng điện từ giảm theo cấp số nhân khi đi qua vật dẫn (Kruželák, Kvasničáková, Hložeková, & Hudec, 2021).

Hiệu suất EMI là do sự tương tác giữa sóng điện từ và các electron tự do trên bề mặt vật liệu. Vật liệu có độ dẫn điện cao có thể cung cấp lưỡng cực điện. Khi sóng điện từ (incident electromagnetic waves) tương tác với các electron tự do trên bề mặt xảy ra hiện tượng sóng điện từ bị phản xạ khỏi bề mặt của mẫu films. Nếu các lưỡng cực điện tương tác với các trường điện từ trong bức xạ thì sóng điện từ còn lại sẽ bị các lưỡng cực hấp thụ. Tổng hiệu suất chắn nhiễu điện từ bao gồm: hiệu suất phản xạ (SE_R), hiệu suất hấp thụ (SE_A) và hiệu suất tán xạ (SE_M). Khi giá trị tổng hiệu suất chắn nhiễu (SE_T) lớn hơn 10 dB, SE_M được bỏ qua (K. Cheng, Li, Zhu, Qiu, & Yang, 2020).

SE EMI có thể được đo bằng máy network analyzer. Có 2 loại máy network analyzer, máy scalar network analyzers (SNA) và vector network analyzer (VNA). Máy SNA chỉ đo biên độ của tín hiệu, trong khi VNA đo cường độ cũng như pha của các tín

hiệu khác nhau. Sóng tới và sóng truyền trong VNA hai cổng có thể được biểu diễn dưới dạng toán học bằng các tham số tán xạ phức tạp (hoặc tham số S). Đây là kỹ thuật được sử dụng phổ biến nhất để thực hiện các chuyển đổi như vậy, trong đó phép đo hệ số phản xạ và truyền dẫn yêu cầu cả bốn (S11, S21, S12, S22) hoặc một cặp (S11, S21) thông số S của vật liệu được thử nghiệm. Khi sóng điện từ (EM) tương tác với vật liệu che chắn, sóng EM phản xạ được đo bằng tham số (S11 hoặc S22) và sóng EM truyền qua có thể được đo bằng tham số (S12 hoặc S21) (Kondawar & Modak, 2020).

Vật liệu chắn nhiễu điện từ là một trong những định hướng phát triển trong tương lai, trước đó đã có những nghiên cứu về vật liệu này với các loại chất độn cũng như chất nền khác nhau đem lại hiệu quả chắn nhiễu điện từ đáng chú ý. Các phương pháp thường gặp để tổng hợp vật liệu chắn nhiễu điện từ hầu hết là phương pháp phối trộn đơn giản với các loại chất độn và chất nền khác nhau cùng với các tỉ lệ tương ứng mà tác giả muốn khảo sát.

Theo **Bảng 1.1** bên dưới liệt kê một số các nghiên cứu trước về vật liệu chắn nhiễu điện từ cũng như hiệu suất chắn nhiễu của vật liệu. Việc sử dụng các kim loại ứng dụng trong chắn nhiễu điện từ đã được các nhóm tác giả khác không ngừng nghiên cứu và phát triển, hiện nay đây là một đề tài đang rất phổ biến và được quan tâm tại thị trường quốc tế.

Bảng 1.1. Các kim loại khác được sử dụng trong ứng dụng chắn nhiễu điện từ

Vật liệu	Độ dày (mm)	Hiệu suất chắn nhiễu (dB)	Tác giả
Ag/CF	2.5	38	(J. Li, Qi, Zhang, & Wang, 2015)
CuNWs	0.2	35	(Al-Saleh, Gelves, & Sundararaj, 2011)
Mxene/SA	0.008	57	(Shahzad et al., 2016)

Ngoài sử dụng kim loại như chất độn, người ta còn có các nghiên cứu về các loại vật liệu khác về đề tài này được mô tả ở **Bảng 1.2**

Bảng 1.2 Các vật liệu được sử dụng trong chắn nhiễu điện từ

Vật liệu	Độ dày (mm)	Hiệu suất chắn nhiễu (dB)	Tác giả
rGO/Wax	2	29	(Wen et al., 2014)
rGO/WPU	1	34	(Hsiao et al., 2014)
rGO/PS	2.5	29	(Yan et al., 2012)
rGO/PU	60	39.4	(Shen, Li, Zhai, Zheng, & interfaces, 2016)
rGO/PI	0.073	51	(Zeng et al., 2016)
rGO/PANI	2.8	34.2	(Yuan, Yu, Sheng, An, & Zhao, 2012)
Graphite/PE	2.5	51.6	(X. Jiang et al., 2015)
Graphite/EP	5	11	(De Bellis, Tamburrano, Dinescu, Santarelli, & Sarto, 2011)
Graphite/ABS	3	60	(Sachdev, Patel, Bhattacharya, & Tandon, 2011)
CF/PVDF	0.05	14	(B. Lee et al., 2002)
CF/PP	3.2	25	(Ameli, Jung, & Park, 2013)
CF/CNT/PS	1	21.9	(Yonglai Yang, Gupta, & Dudley, 2007)

1.3. TỔNG QUAN VỀ NGHIÊN CỨU TRONG VÀ NGOÀI NƯỚC VỀ VẬT LIỆU EMI

1.3.1. Các nghiên cứu ngoài nước

Nghiên cứu trước đây của tác giả Song và cộng sự (Song et al., 2012) về vật liệu chắn nhiễu điện từ sử dụng vật liệu nền là multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs) được phủ bởi các hạt nano ZnO đơn tinh thể. Vật liệu thu được có chỉ số chắn nhiễu EMI SE ~ 18 dB.

Tiếp theo là nhóm tác giả Muzaffar và cộng sự (Muzaffar, Ahamed, Deshmukh, & Faisal, 2019), đã tổng hợp màng nanocomposite Poly vinyl chloride/Barium titanate/Nickel oxide (PVC/ BaTiO₃/ NiO) để ứng dụng trong việc đánh giá khả năng chắn nhiễu điện từ. Thu được kết quả độ chắn nhiễu ở băng tần K α 12-18 GHz, EMI SE ~ 6.5 -18.7 dB.

Bên cạnh đó, tác giả Dutta và cộng sự (Dutta, Bose, Kar, Das, & Mukherjee, 2017) đã tổng hợp thành công vật liệu NiO/ poly(vinyl flouride) bằng phương pháp thủy nhiệt. Vật liệu này được ứng dụng trong việc đánh giá khả năng chắn nhiễu đối với tỉ lệ NONPs/PVDF là 15%, tác giả thu được giá trị chắn nhiễu trong khoảng giá trị băng tần X 8.2 – 14.2 GHz là từ 10 – 12 dB.

Ngoài ra, nhóm tác giả Lee và cộng sự (S. H. Lee, Kim, Koo, & Kim, 2017) đã lựa chọn tổng hợp vật liệu sợi caron phủ nickel/ polypropylene 30/70 wt%, hiệu quả che chắn cao nhất ở 10 GHz là 48.4 dB.

Và tác giả Bora và cộng sự (Bora, Vinoy, Ramamurthy, & Madras, 2017) đã thu được kết quả chắn nhiễu đối với các băng tần khác nhau như J (5.8 – 8.2 GHz), dải X (8.2–12.4 GHz) và băng tần Ku (12.4–18 GHz). EMI SE trung bình lần lượt là ~ 24 dB, ~ 27 –24 dB, ~ 21 dB. Kết quả này thu được từ vật liệu mà tác giả đã tổng hợp mẫu film polyaniline – nickel oxide phủ trên cenosphere.

Tác giả L.Wang và cộng sự (Wang et al., 2019) đã tổng hợp vật liệu MXENE/epoxy với tỉ lệ chất độn là 15% cho hiệu quả chắn nhiễu lên đến 41 dB.

Tiếp theo là nhóm tác giả Zahid và cộng sự (Zahid et al., 2020) lựa chọn tổng hợp vật liệu polyurethane/graphene oxide (RGO) với hiệu quả chắn nhiễu điện từ cho tỷ lệ RGO 1% là 28 dB ở 19-20 GHz, với tỷ lệ rGO 2.5% là 53 dB ở 12-14 GHz

Theo nghiên cứu nhóm tác giả Joseph và cộng sự (Joseph et al., 2013) đã thu được hiệu quả chắn nhiễu điện từ của hỗn hợp polyvinylidene fluoride (PVDF) - 40% micro BaTiO₃ là khoảng 7 dB và của hỗn hợp PVDF - 40% nano BaTiO₃ là khoảng 9 dB. Hiệu quả chắn nhiễu của vật liệu tổng hợp PVDF - nano BaTiO₃ cao hơn một chút so với vật liệu tổng hợp PVDF- micro BaTi cho cùng một lượng chất độn.

Các nghiên cứu ngoài nước hiện đang phổ biến và được quan tâm.

1.3.2. Nghiên cứu trong nước

Nhóm tác giả Ngô và cộng sự (Ngô, 2011), đã chế tạo vật liệu polypyrrol clay composite. Kết quả sau khi khảo sát khả năng hấp thụ nhiễu điện từ của vật liệu polypyrrol clay nano composite cho thấy ở hàm lượng 5% clay cho khả năng hấp thụ nhiễu điện từ tốt nhất, độ dày lớp phủ càng cao thì khả năng hấp thụ càng tốt.

Các nghiên cứu trong nước hiện vẫn đang hạn chế và chưa được phổ biến rộng rãi.

Chương 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. HÓA CHẤT VÀ THIẾT BỊ

2.1.1. Hóa chất

Bảng 2.1. Danh mục hóa chất được sử dụng trong quá trình thực nghiệm

STT	Tên hóa chất	Độ tinh khiết	Xuất xứ
1	Nickel (II) nitrate hexahydrate	98%	Trung Quốc
2	Ethylene glycol	99%	Trung Quốc
3	Hydrazine hydrate	80%	Trung Quốc
4	Nước DI	-	Việt Nam
5	Iron (III) chloride hexahydrate	99%	Trung Quốc
6	Acrylic acid	99%	Trung Quốc
7	Ammonium persulfate	98%	Trung Quốc

2.1.2. Thiết bị

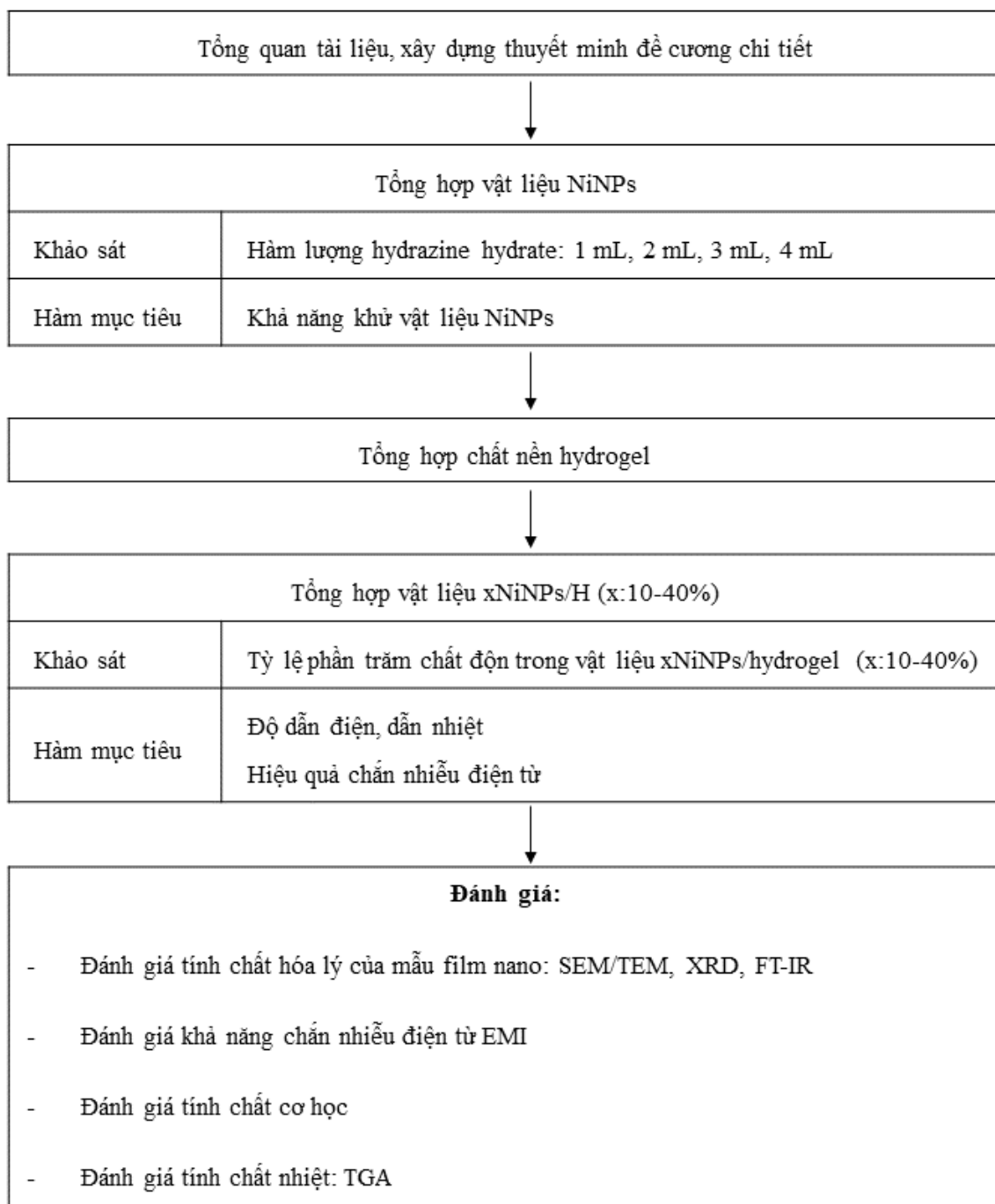
Bảng 2.2. Danh mục thiết bị được sử dụng trong thí nghiệm

STT	Tên thiết bị	Hình ảnh
1	Cân phân tích 4 số Ohaus	
2	Máy khuấy từ gia nhiệt Daihan	
3	Máy khuấy từ gia nhiệt Trung Quốc	

4	Lò nung Nabertherm	
5	Tủ sấy Memmert	
6	Máy ly tâm tốc độ cao Lace 16	

2.2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.2.1. Sơ đồ nghiên cứu



Hình 2.1. Sơ đồ nghiên cứu

2.2.2. Bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm được chia ra làm 3 giai đoạn chính:

- Giai đoạn 1: Tổng hợp vật liệu NiNPs.

- Giai đoạn 2: Tổng hợp chất nền hydrogel.
- Giai đoạn 3: Khảo sát ảnh hưởng của các tỷ lệ NiNPs/hydrogel lên hiệu quả chắn nhiễu điện từ của vật liệu

2.2.2.1. *Giai đoạn 1: Tổng hợp vật liệu NiNPs*

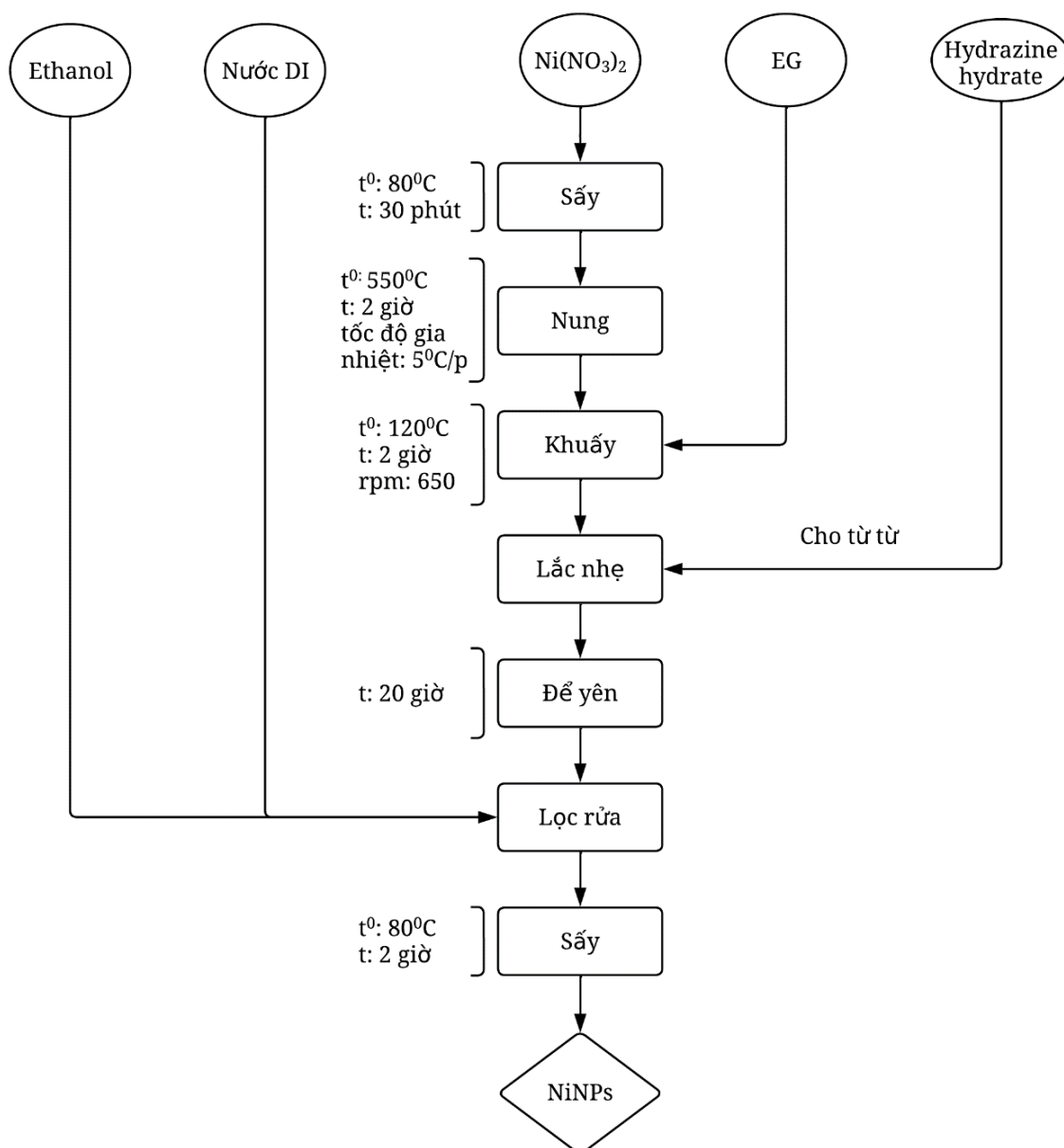
Quy trình tổng hợp vật liệu NiNPs được trình bày ở **Hình 2.2**, Nickel (II) nitrate hexahydrate – $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ được sấy ở 80 °C trong 30 phút và mang đi nung ở 550 °C trong 2 giờ với tốc độ gia nhiệt 5 °C/ phút. Khi đã nung xong, mang mẫu rắn thu được đem đi nghiền mịn. Tiếp tục, cho 1 g mẫu rắn sau khi nghiền, thêm vào 10 mL ethylene glycol (EG), khuấy ở nhiệt độ 120 °C trong 2 giờ. Sau đó, tiếp tục nhỏ từ từ tác nhân khử hydrazine hydrate và để yên dung dịch trong 20 tiếng. Cuối cùng, dung dịch được lọc rửa với nước deionized (DI) và ethanol cho đến khi loại bỏ hết các sản phẩm thừa sau đó sấy khô mẫu ở 80 °C trong 2 h để thực hiện các bước tiếp theo. Quy trình được tham khảo dựa trên các nghiên cứu trước đây của nhóm tác giả Kong và cộng sự (Kong et al., 2015).

Nhân tố cố định:

- Điều kiện nung mẫu: nhiệt độ 550 °C, thời gian 2 h, tốc độ gia nhiệt 5 °C/phút.
- Tỷ lệ EG/mẫu rắn sau khi nung.

Nhân tố khảo sát:

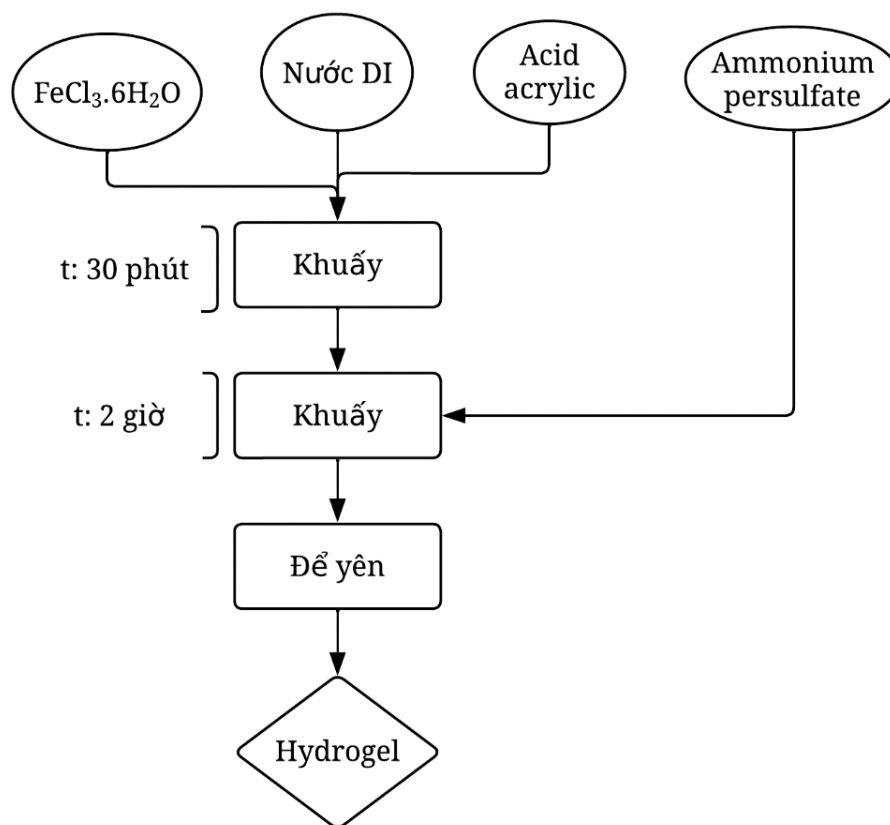
- Hàm lượng hydrazine hydrate/1 g mẫu rắn sau khi nung: 1, 2, 3, 4 mL.



Hình 2.2. Sơ đồ quy trình tổng hợp vật liệu NiNPs

2.2.2.2. Giai đoạn 2: Tổng hợp chất nền hydrogel

Hòa tan hoàn toàn hỗn hợp gồm 0.18 g iron (III) chloride hexahydrate, 64 mL nước DI và 16 g acrylic acid ở nhiệt độ phòng. Sau đó, thêm từ từ 0.25 g ammonium persulfate vào hỗn hợp trên và khuấy trong 2 giờ. Để yên trong vòng 1-2 tiếng cho sản phẩm đông đặc, quy trình được tham khảo dựa trên nghiên cứu của nhóm tác giả Jiang và cộng sự (H. Jiang et al., 2017) theo mô tả ở **Hình 2.3**. Quy trình được cố định các nhân tố và không khảo sát thêm.



Hình 2.3. Sơ đồ quy trình tổng hợp chất nền hydrogel

2.2.2.3. Giai đoạn 3: Khảo sát ảnh hưởng của tỉ lệ NiNPs/Hydrogel đến khả năng chắn nhiễu điện từ

Phối trộn hỗn hợp NiNPs và hydrogel theo tỉ lệ khảo sát, sau đó đổ ra khuôn định hình ở nhiệt độ phòng, thu được mẫu film nano.

Nhân tố khảo sát: Tỉ lệ NiNPs/ hydrogel (10, 20, 30, 40 wt./wt.)

2.2.3. Phân tích đặc tính vật liệu

2.2.3.1. Phân tích tính chất hóa lý của vật liệu

Để khảo sát tính chất hóa lý của vật liệu NiNPs và hydrogel, tác giả đã gửi mẫu đi phân tích tại trung tâm phân tích thuộc Viện Khoa học Vật liệu Ứng dụng, Quận 12, TP.HCM với các phương pháp phân tích và đánh giá vật liệu thông qua các kỹ thuật sau: SEM, XRD, FT-IR, TGA, độ bền cơ học

- SEM: phương pháp phân tích hình thái bề mặt, phân tích SEM hoặc kỹ thuật SEM của vật liệu giúp nhận biết mức độ phân bố của các hạt NiNPs cũng như khả năng liên kết của chất độn NiNPs và hydrogel. Phương pháp đã được sử dụng rộng

rãi cho nhiều ngành khác nhau. Đây có thể được coi là một phương pháp hiệu quả trong việc phân tích các vật liệu hữu cơ và vô cơ ở quy mô nanomet đến micromet (μm). SEM hoạt động ở độ phóng đại cao lên tới 300.000x và thậm chí 1.000.000 trong việc tạo ra hình ảnh rất chính xác trên nhiều loại vật liệu (Mohammed & Abdullah, 2018).

- XRD: phương pháp này giúp xác định cấu trúc tinh thể của vật liệu. Máy đo nhiễu xạ tia X (Bruker-D8) với bức xạ $\text{CuK}\alpha$ (bước sóng $1,541\text{\AA}$ sử dụng hình học máy đo góc Bragg-Brentano và cơ chế θ - 2θ) đã được sử dụng. Biểu đồ XRD của tất cả các mẫu được ghi lại với tốc độ quét 1,5 giây mỗi bước với 2θ thay đổi từ 10 đến 500 dưới điện áp hoạt động 40 kV (Dutta et al., 2017).

- FT-IR: Quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FT-IR) là một trong 3 kỹ thuật phân tích hàng đầu trên Web of Science (WoS) với 50.000 bài báo mỗi năm. Các hợp chất có moment lưỡng cực hấp thụ có chọn lọc bức xạ hồng ngoại theo chức năng đặc trưng của chúng các nhóm chức ví dụ như hydroxyl, nitirle, amit. Biểu đồ phổ hồng ngoại vẽ đồ thị độ hấp thụ theo các bước sóng thay đổi từ 4000 cm^{-1} đến 400 cm^{-1} (Guerrero-Pérez & Patience, 2020). Phương pháp này đã được ứng dụng rộng rãi trong nghiên cứu quang hợp và các lĩnh vực liên quan, cung cấp thông tin bổ sung cho dữ liệu cấu trúc ba chiều thu được bằng nhiễu xạ tia X (hoặc cộng hưởng từ hạt nhân, NMR) (Berthomieu & Hienerwadel, 2009). Kết quả phân tích cho biết rằng trong vật liệu chấn nhiều tồn tại những nhóm chức nào ở bên trong vật liệu.

2.2.3.2. Độ bền nhiệt TGA

Phân tích độ bền nhiệt TGA được thực hiện để xác định độ ổn định nhiệt của mẫu films. Phương pháp này được tiến hành trong môi trường khí N_2 từ $50\text{ }^\circ\text{C}$ đến $900\text{ }^\circ\text{C}$ với tốc độ gia nhiệt $10\text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$ (K. Cheng et al., 2020).

2.2.3.3. Độ bền cơ học

Phân tích độ bền cơ học là một yếu tố quan trọng trong quá trình chế tạo vật liệu. Để đáp ứng các yêu cầu ứng dụng của vật liệu, tính chất linh hoạt cơ học là vô cùng cần thiết. Kiểm tra độ bền cơ học là quá trình kiểm tra phá hủy nhằm xác định độ bền kéo, cường độ năng suất và độ dẻo của vật liệu kim loại. Nó đo lực cần thiết để phá vỡ một

mẫu vật liệu composite hoặc nhựa và mức độ mà mẫu vật kéo dài hoặc giãn ra đến điểm đứt.

Thử nghiệm kéo của vật liệu tổng hợp nói chung ở dạng kéo cơ bản hoặc thử kéo phẳng theo các tiêu chuẩn như ISO 527-4, ISO 527-5, ASTM D 638, ASTM D 3039 và ASTM C 297. Các thử nghiệm như vậy tạo ra kết quả biểu đồ ứng suất - biến dạng dùng để xác định mô đun kéo (Saba, Jawaid, & Sultan, 2019).

2.2.3.4. Khả năng chắn nhiễu điện từ

Trong nghiên cứu này, hệ thống đầu dò đa điểm (Multi Height Probe combined with the RM3000+ Test Unit, Four Probes Technology Co.) được sử dụng để đo điện trở của tấm nano theo hướng mặt phẳng. Hiệu suất chắn nhiễu điện từ (SE EMI) của tấm film xNiNPs/H được thực hiện và tính toán dựa trên các công thức được nghiên cứu trước đó. (Cao et al., 2018)

Cách xác định các đặc tính chắn nhiễu điện từ của mẫu films được thực hiện trong dải tần số băng tần 8.2–12.4 GHz (băng tần X) thông qua máy VNA (E5063A ENA, Keysight Technologies, USA) với airline kit (85051BR03). Tất cả các mẫu films xNiNPs/H được đúc thành “coaxial shape” với đường kính trong và ngoài lần lượt là 3.04 và 7.00 mm. Các thông số tán xạ (S_{11} và S_{21}) của mẫu films đã được sử dụng để tính toán SE_T , SE_A và SE_R theo các công thức sau:

$$R = |S_{11}|^2; T = |S_{21}|^2; A = 1 - R - T \quad (1)$$

$$SE_R = -10 \cdot \log_{10}(1 - R) \quad (2)$$

$$SE_A = -10 \cdot \log_{10}[T/(1 - R)] \quad (3)$$

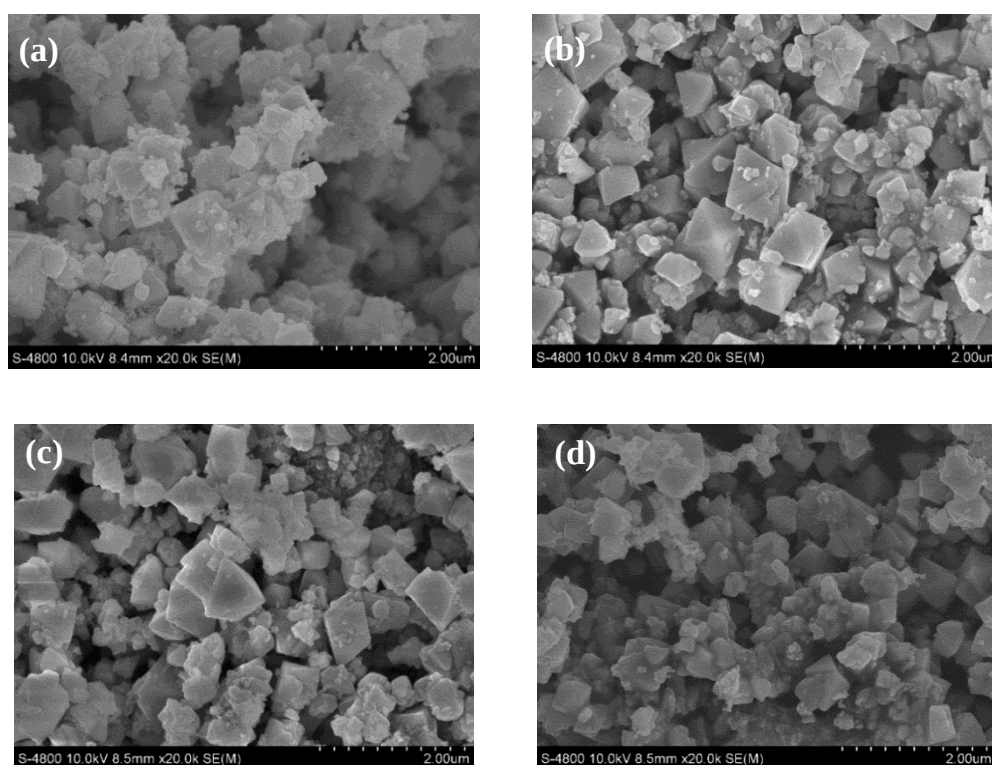
$$SE_T = -10 \cdot \log_{10}(T) \quad (4)$$

Chương 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. TÍNH CHẤT HÓA LÝ CỦA VẬT LIỆU NiNPs/H

3.1.1. SEM vật liệu NiNPs

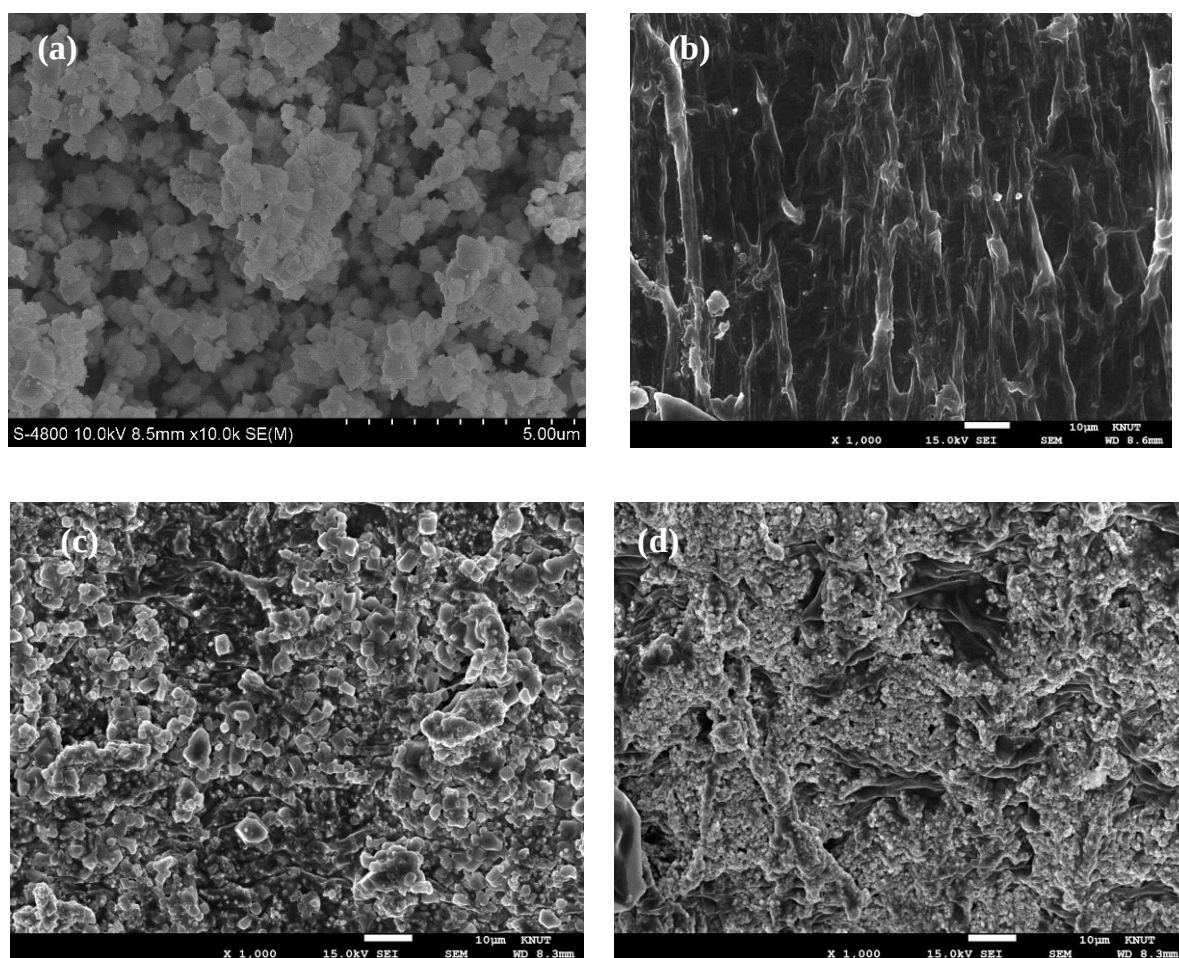
Cấu trúc hình thái bề mặt của vật liệu NiNPs ở các tỷ lệ hydrazine khác nhau được thể hiện trong **Hình 4.1** với mẫu 1NiNPs, 2NiNPs, 3NiNPs, 4NiNPs tương ứng với hàm lượng hydrazine hydrate được khảo sát là 1; 2; 3; 4 mL. Kết quả chỉ ra rằng các hạt nano Ni có dạng hình cầu, qua quan sát ta có thể thấy rằng các hạt này có độ kết tụ cao và tạo thành một cụm. Có một số hạt lớn hơn có thể là do các hạt nano siêu mịn có xu hướng kết tụ lại do năng lượng bề mặt cao (high surface energy) và sức căng bề mặt vật liệu (Fardood, Ramazani, & Moradi, 2017). Qua hình, nhận thấy các hạt có sự phân bố ngẫu nhiên với kích thước không đồng đều ở các mẫu a,b,c. Ở mẫu d các hạt xu hướng có kích thước đều nhau và ổn định hơn. Vì vậy mẫu (d) với hàm lượng 4 mL hydrazine hydrate được lựa chọn để tổng hợp mẫu films trong nghiên cứu này.



Hình 3.1. Hình thái bề mặt SEM với độ phóng đại x20.0k của (a) 1NiNPs, (b) 2NiNPs, (c) 3NiNPs, (d) 4NiNPs

3.1.2. Cross-SEM

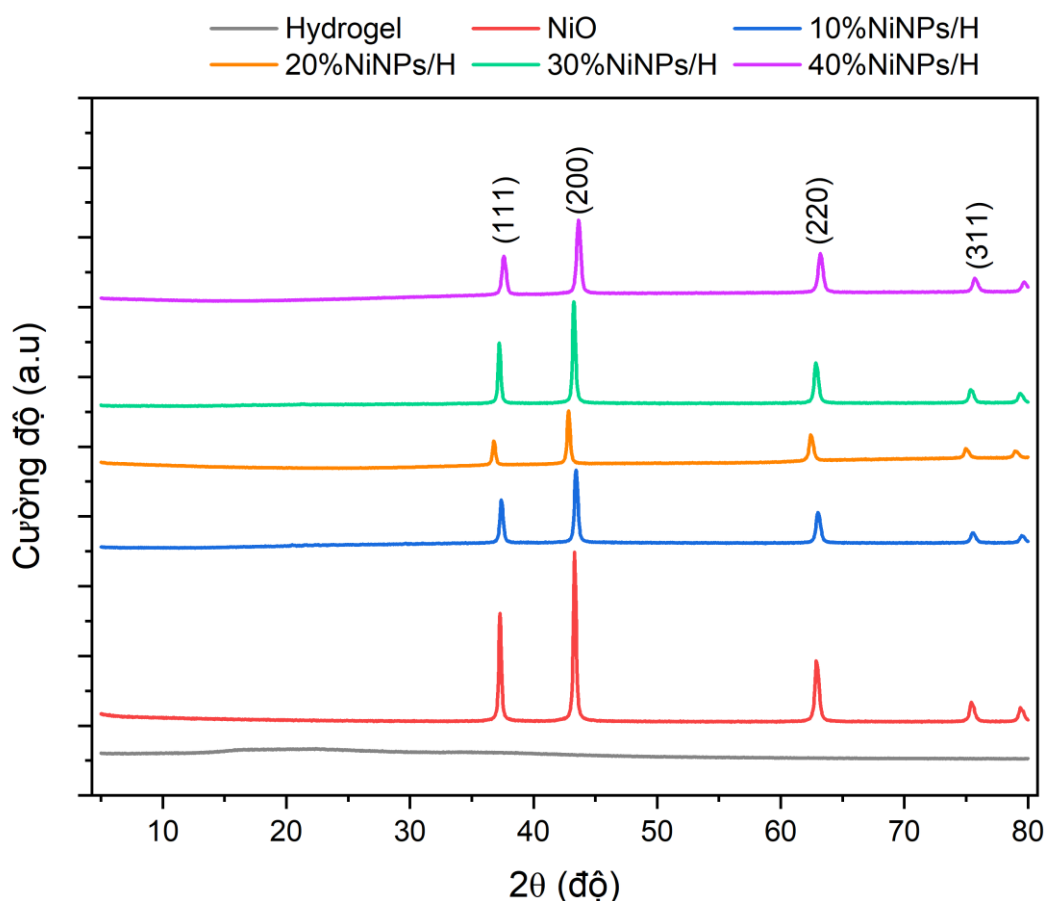
Kết quả quan sát hình thái bề mặt mặt cắt của vật liệu được trình bày ở **Hình 3.1** với các mẫu 4NiNPs; hydrogel; 30%NiNPs/H; 40%NiNPs/H. Ở hình (a) cho thấy vật liệu NiNPs có dạng hình cầu, các hạt có xu hướng đều nhau và kết lại thành 1 cụm (Fardood, Ramazani, & Moradi, 2017). Từ hình (b) có thể thấy khá rõ ràng cấu trúc lỗ xốp của hydrogel dạng sợi dài liên kết với nhau, điều này minh chứng rằng hydrogel chủ yếu chứa nước. Do đó, đây có thể là lời giải thích cho khả năng hấp thụ nước cao của hydrogel (Monir et al., 2019). Tại hình (c), (d) lúc này vật liệu NiNPs/H được lấp đầy vào bề mặt chất nền, tuy nhiên không lấp đầy các lỗ rỗng của hydrogel, các hạt nano hình cầu NiNPs gắn vào bên trong cấu trúc lỗ xốp và trên bề mặt của chất nền tạo nên 1 tổng thể liên kết chặt chẽ với nhau.



Hình 3.2. Hình ảnh SEM của mặt cắt vật liệu của (a) NiNPs (x10k), (b) Hydrogel, (c) 30%NiNPs/H và (d) 40%NiNPs/H với (x1k)

3.1.3. Nhiễu xạ tia X (XRD)

Cấu trúc tinh thể của vật liệu NiNPs quan sát được bằng nhiễu xạ tia X (XRD) được biểu hiện trong **Hình 3.2** bao gồm vật liệu bột NiO, 10%NiNPs/H, 20%NiNPs/H, 30%NiNPs/H, 40%NiNPs/H. Qua quan sát, các peak $37,22^\circ$; $43,25^\circ$; $62,79^\circ$; $75,30^\circ$ tương ứng với các mặt phẳng (111), (200), (220), (311). Tất cả các peak chỉ ra rằng vật liệu thuộc cấu trúc lập phương tâm mặt (face-centered cubid phase -FCC) thể hiện cấu trúc của NiO (JCPDS Card No.73-1523) (G. Cheng, Yan, & Chen, 2015). Việc thay đổi hàm lượng vật liệu NiNPs không làm thay đổi cấu trúc của vật liệu xNiNPs/H, ngoài ra tại đường đồ thị biểu diễn cho mẫu bột NiO các peak có xu hướng cao hơn và rõ ràng hơn các peak còn lại của các vật liệu khác. Bên cạnh đó, vật liệu hydrogel không xuất hiện peak nào thông qua phép phân tích nhiễu xạ tia X. Cho thấy vật liệu NiNPs tinh khiết đã được tổng hợp thành công.

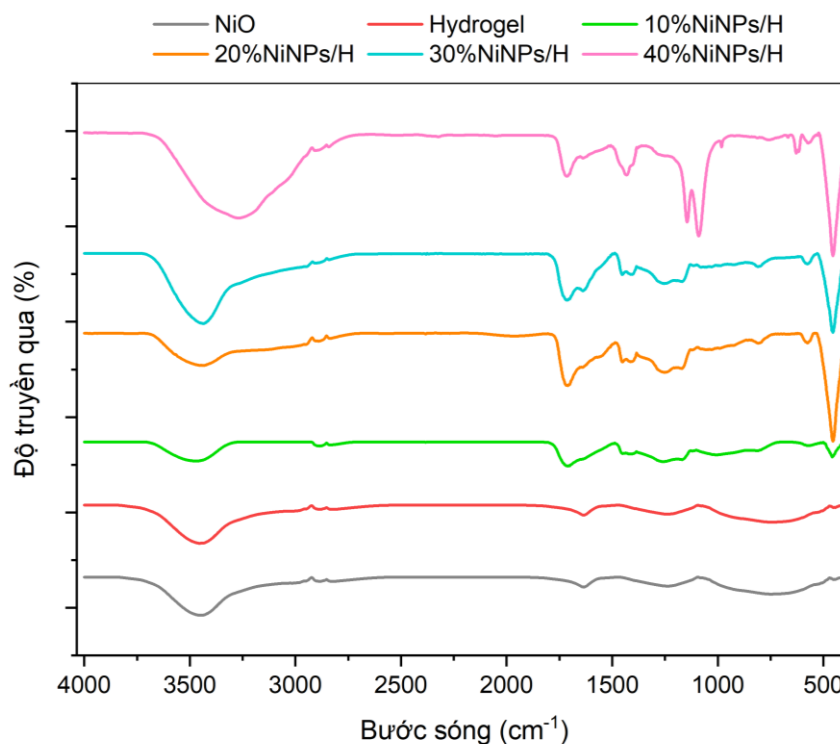


Hình 3.3. Kết quả phân tích nhiễu xạ tia X (XRD) vật liệu xNiNPs/H (x: 10-40%)

Sự hình thành NiO có thể là do quá trình oxy hóa ngược các hạt nano Ni đã hình thành trước đó do quá trình phân hủy nhiệt của tiền chất vô cơ hoàn toàn gây ra sự khử hydro và tạo ra môi trường oxy hóa (Teoh & Li, 2012).

3.1.4. FT-IR

Kết quả phân tích phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FT-IR) xác định các nhóm chức tồn tại trong vật liệu được mô tả ở **Hình 3.3**. Tại bước sóng 3478 cm^{-1} đến 3278 cm^{-1} là dao động kéo của nhóm -OH (liên kết hydro). Bên cạnh đó, tại vị trí 1635 cm^{-1} - 1713 cm^{-1} là do dao động uốn cong của các phân tử nước hình thành (góc hydroxyl). Ngoài ra, sự tồn tại của carbonates cũng được thể hiện tại vị trí 1450 cm^{-1} – 1145 cm^{-1} . Ở vị trí bước sóng $\sim 2900\text{ cm}^{-1}$ – 2323 cm^{-1} tương ứng với C-H kéo dãn (stretching mode) và vị trí được thể hiện rõ ràng trong hình ở bước sóng 628 cm^{-1} – 454 cm^{-1} liên quan đến dao động liên kết (vibration bond) Ni-O. Từ kết quả cho thấy, vật liệu NiO nanoparticles đã được tổng hợp thành công. Bên cạnh đó, sự khác nhau về cường độ peak khi tăng hàm lượng NiNPs từ 10 – 40%, cường độ hấp thụ của peak ở các nhóm chức -OH, -CH cũng tăng đáng kể đặc biệt hơn tại mẫu 40%NiNPs/H nhóm chức C=O tại vị trí 1450 cm^{-1} – 1145 cm^{-1} thể hiện khá rõ ràng (Kannan et al., 2020; Kayani, Butt, Riaz, & Naseem, 2018; Rahdar, Aliahmad, & Azizi, 2015).



Hình 3.4. Kết quả phân tích FT-IR vật liệu xNiNPs/H (x: 10-40%)

3.1.5. TGA

Biểu đồ phân tích TGA cho kết quả phân hủy nhiệt của vật liệu hydrogel và xNiNPs/H (x:10-40%) được mô tả ở **Hình 3.4**. Mức độ hao hụt về khối lượng có sự chênh lệch với hàm lượng NiNPs khác nhau ở các mẫu. Các giai đoạn đều được quan sát ở nhiệt độ dưới 800 °C. Qua quan sát, mẫu hydrogel bắt đầu phân hủy ở 47 °C và kết thúc ở khoảng 477 °C, hao hụt khoảng 83% khối lượng vật liệu ban đầu do giải phóng các gốc acrylic acid bao gồm các đoạn chuỗi ngắn từ quá trình phân mảnh chuỗi chính, tại các nhiệt độ thấp hơn việc hao hụt khối lượng là do nước dư bay hơi (Lim, Ahmad, & Lazim, 2015).

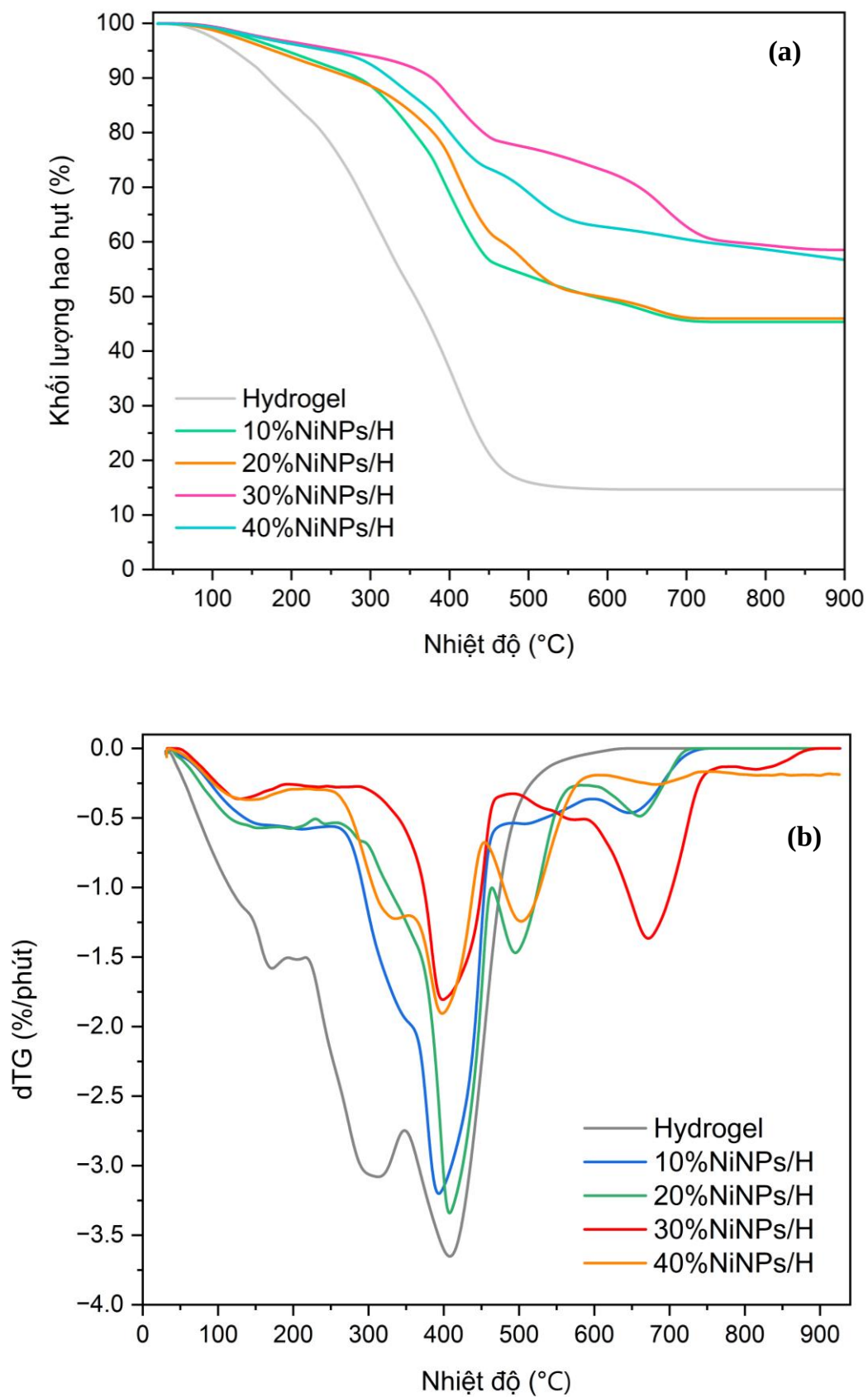
Khối lượng ở 2 mẫu 10%NiNPs/H; 20%NiNPs/H có xu hướng hao hụt nhiều hơn 2 mẫu còn lại có hàm lượng NiNPs cao hơn, tuy nhiên nhiệt độ kết thúc quá trình phân hủy lại thấp hơn. Sự phân hủy nhiệt tại các mẫu xNiNPs/H (x: 10-40%) được chia ra thành 2 giai đoạn.

Giai đoạn đầu, nhiệt độ dao động từ 38 – 272 °C, ở đây sự hao hụt khối lượng phần lớn là do nước bay hơi.

Giai đoạn tiếp theo là giai đoạn chính, dao động từ 272 – 563 °C, tại giai đoạn này hao hụt chủ yếu là do sự phân hủy của các tiền chất có trong vật liệu (phần trăm hao hụt so với khối lượng ban đầu của vật liệu)

Giai đoạn còn lại có sự hao hụt rất ít, giai đoạn này được cho là quá trình oxy hóa của các ion có trong vật liệu. Ngoài ra, không quan sát thấy khối lượng giảm sau 800 °C, điều đó có nghĩa là các hạt nano đã được hình thành và đạt được độ ổn định hóa học (Al Boukhari, Khalaf, & Awad, 2020; Zorkipli, Kaus, & Mohamad, 2016).

Càng tăng hàm lượng NiNPs, vật liệu có xu hướng bền với nhiệt hơn, khối lượng ít bị hao hụt và ổn định hơn.



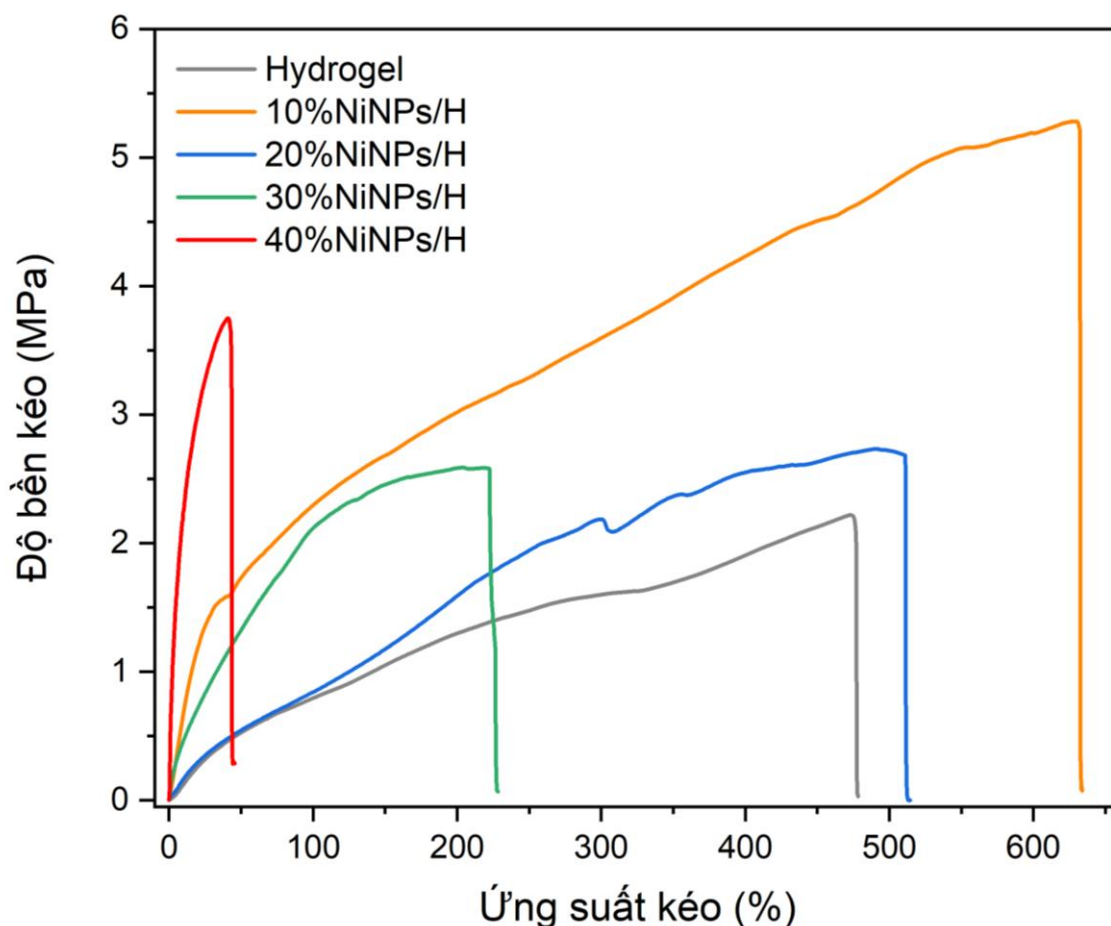
Hình 3.5. Kết quả phân tích độ bền nhiệt (a) TGA và (b) dTG của mẫu vật liệu xNiNPs/H (x: 10-40%)

3.2. ĐỘ BỀN CƠ HỌC

Các tính chất cơ học là một trong những thông số quan trọng nhất được sử dụng để đánh giá vật liệu tổng hợp mới. Độ bền kéo của vật liệu được mô tả ở **Hình 3.6**. Với hàm lượng NiNPs khác nhau, độ bền kéo của vật liệu cũng khác nhau.

Với mẫu hydrogel khi lực kéo $\sim 2,2$ MPa độ bền kéo đạt 475%. Độ bền kéo giảm dần khi hàm lượng NiNPs tăng lên tương ứng với mẫu 10%NiNPs/H độ bền kéo đạt 631% với lực 5,25 MPa. Với mẫu film 20%NiNPs dùng 1 lực 2,7 MPa đạt 508% độ bền kéo. Giảm dần với mẫu 30%NiNPs/H độ bền kéo chỉ còn 221% với lực kéo tăng lên 2,58 MPa. Cuối cùng mẫu có độ bền kém nhất là mẫu films 40%NiNPs/H với lực kéo 3,7 MPa và độ bền kéo giảm còn 40,5%. Sự tương tác giữa chuỗi phân tử và vật liệu NiNPs là hai yếu tố ảnh hưởng chính đến độ giãn dài và độ bền đứt của hydrogel (Zhang et al., 2011).

Kết quả cho thấy độ bền kéo càng cao thì khả năng linh hoạt của vật liệu càng tốt. Ở đây mẫu 10%NiNPs/H có độ bền kéo cao nhất, tiếp theo là hydrogel, mẫu có độ bền kéo thấp nhất là mẫu 40%NiNPs/H, điều này có thể giải thích như sau mẫu 10%NiNPs/H có lượng vật liệu NiNPs vừa phải đủ để tạo nên những liên kết bền chặt với hydrogel để đạt được độ bền kéo hơn các mẫu còn lại. Đối với mẫu 40%NiNPs/H do lượng NiNPs quá nhiều dẫn đến mật độ vật liệu dư thừa trên bề mặt, làm hydrogel bị mất nước nên mẫu films bị khô và giảm sự đàn hồi đáng kể.



Hình 3.6. Kết quả phân tích độ bền cơ học của mẫu vật liệu xNiNPs/H (x: 10-40%)

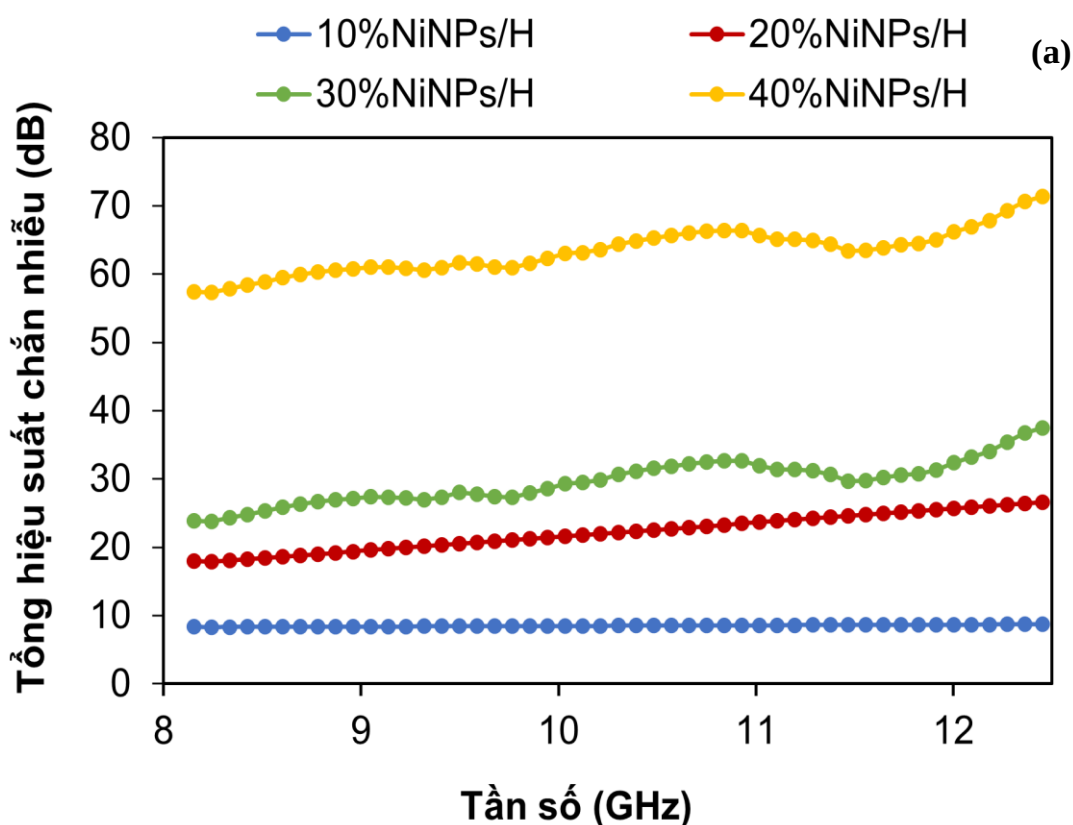
3.3. KHẢ NĂNG CHẮN NHIỄU ĐIỆN TỪ (EMI)

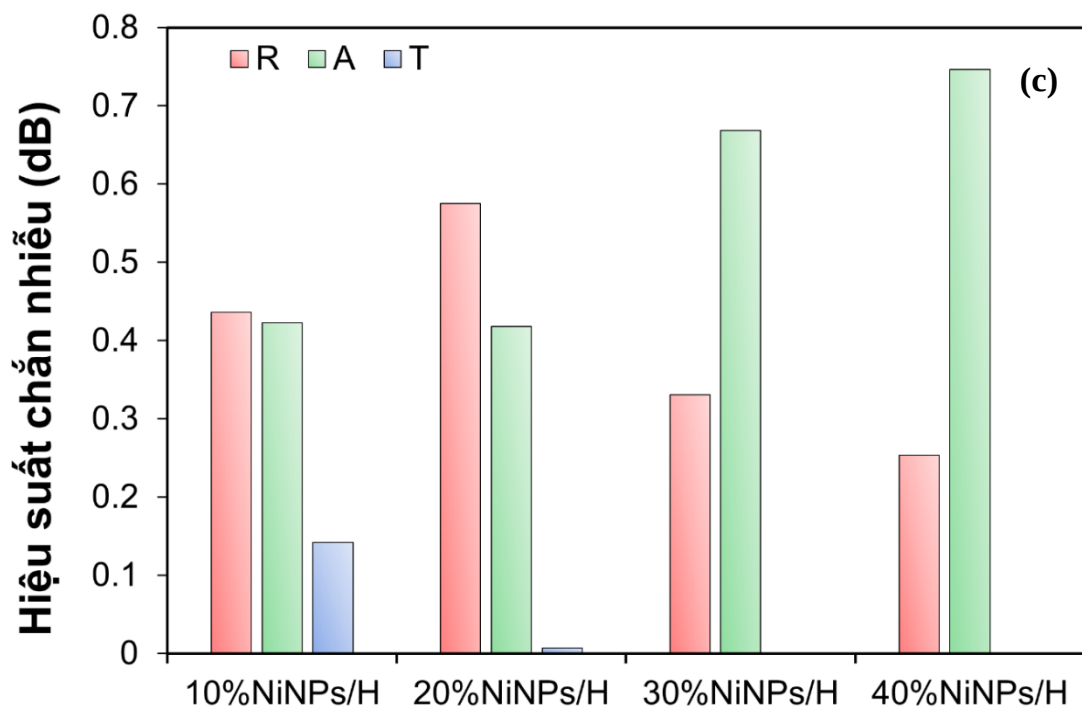
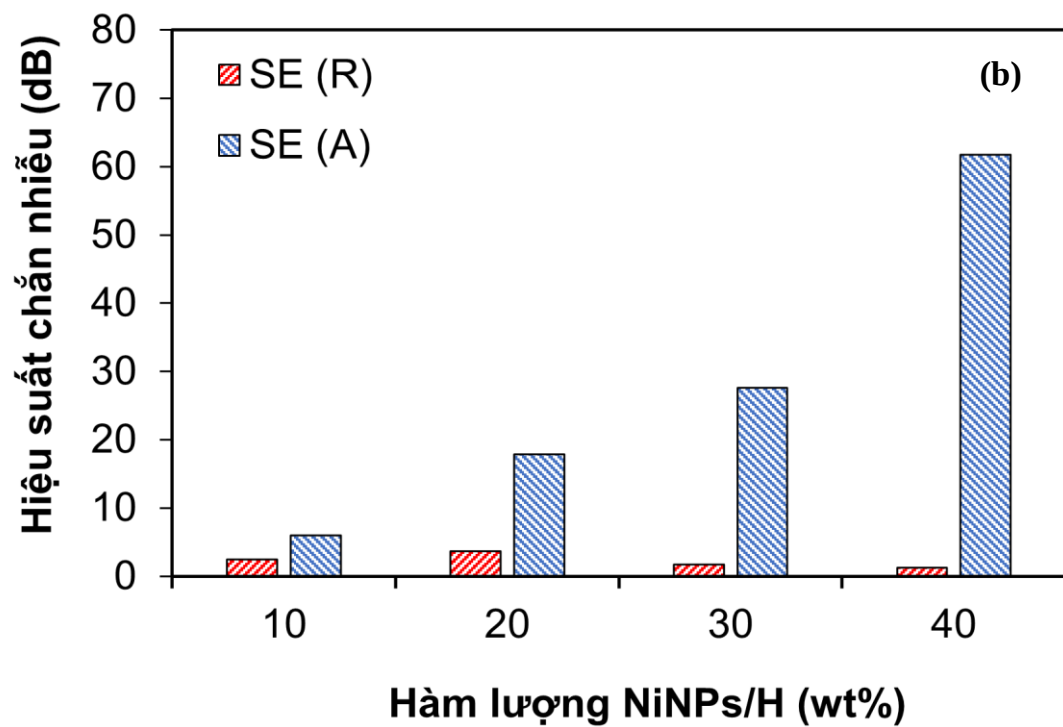
Vật liệu có độ dẫn điện tốt sẽ có khả năng chắn nhiễu điện từ cao, các phép phân tích được áp dụng trên các tấm films xNiNPs/H về hiệu suất chắn nhiễu điện từ (EMI) ở băng tần X (8,0 – 12,5 GHz) (Vu et al., 2021), được trình bày trong **Hình 3.6a**. Đối với sóng EM khi truyền qua vật liệu chắn nhiễu, biên độ của nó giảm theo cấp số nhân. Sự mất mát do hấp thụ này xảy ra do dòng điện cảm ứng trong mẫu film, tạo ra tổn thất Ohm và làm nóng vật liệu chắn nhiễu. Tổn thất hấp thụ là kết quả của tổn thất nhiệt sinh ra do tác động giữa lưỡng cực điện hoặc lưỡng cực từ và trường EM. Do đó, để có vật liệu hấp thụ tốt, tấm chắn phải có độ dẫn điện cao (Kondawar & Modak, 2020).

Khả năng chắn nhiễu điện từ phụ thuộc chủ yếu vào tính linh hoạt của vật liệu NiNPs. Hiệu suất chắn nhiễu có xu hướng tăng lên khi hàm lượng NiNPs tăng lên. Tổng hiệu suất chắn nhiễu điện từ (EMI SE Total) là kết quả của che chắn phản xạ (SE_R) và

hấp thụ (SE_A). Hàm lượng NiNPs tăng từ 10 đến 40 wt.%, các giá trị về tổng hiệu suất chắn nhiễu điện từ của mẫu films đã tăng mạnh từ 8,5 lên đến 64 dB. Đối với hàm lượng 30 wt.% NiNPs mẫu films 30%NiNPs/H có độ chắn nhiễu EMI SE đạt đến ~30 dB, điều này đồng nghĩa với việc mẫu films đó có thể làm giảm 99,9% độ bức xạ EM và được coi là mức EMI đáp ứng tốt cho các ứng dụng công nghiệp khác nhau (H. Li et al., 2022; Tan et al., 2022).

Chắn nhiễu điện từ có 3 cơ chế chính đó là hấp thụ và phản xạ của bức xạ. Cơ chế phản xạ làm bật bức xạ điện từ ra khỏi vật liệu gây ô nhiễm điện từ cho môi trường xung quanh, vì vậy để an toàn cơ chế hấp thụ được ưa chuộng hơn để chắn nhiễu điện từ (Chung, 2020). **Hình 3.6b, c** cho thấy rằng khả năng phản xạ (SE_R) và khả năng hấp thụ (SE_A) nhiễu điện từ của vật liệu tăng khi tăng hàm lượng NiNPs. Tuy nhiên, khả năng hấp thụ SE_A cao hơn so với khả năng phản xạ SE_R nhiễu điện từ. SE_A của mẫu films 40%NiNPs/H tăng gấp 10 lần 10%NiNPs/H từ 6 dB lên đến 61,7 dB, tương ứng. Dựa vào kết quả cho thấy, cơ chế chắn nhiễu của tấm film NiNPs/H chủ yếu theo cơ chế hấp thụ nhiễu điện từ.





Hình 3.7. (a, b) Hiệu suất chắn nhiễu điện từ (EMI shielding) và (c) hệ số hấp thụ (A), phản xạ (R), truyền qua (T) của nhiễu điện từ tại băng tần X (8 -12 GHz) của các mẫu films xNiNPs/H (x: 10; 20; 30; 40 wt.%)

Bên cạnh đó, các nghiên cứu về vật liệu chắn nhiễu điện từ với các phương pháp khác nhau mang lại các kết quả tương ứng. Vật liệu được ưa chuộng là kim loại

nanocomposite. Đối với các vật liệu được liệt kê ở **Bảng 3.1** độ bền nhiệt dao động từ 3-500 °C với độ chấn nhiễu lên đến ~46 dB, ở đây cơ chế hấp thụ là cơ chế chính chấn nhiễu điện từ.

Bảng 3.1. So sánh các nghiên cứu về vật liệu chấn nhiễu nanocomposite

Vật liệu	Chất độn/chất nền (wt/wt)	Độ dày	Độ bền nhiệt	Độ chấn nhiễu (dB)	Cơ chế chấn nhiễu	Tác giả
ZnO/MWCNTs	10/4	5 mm	-	~36	Hấp thụ	(Song et al., 2012)
NONPs/PVDF	1.5/10	300µm	~450 °C- 500 °C	12	Hấp thụ	(Dutta et al., 2017)
(GNP/PS)/CNH	75/1	4 mm	~373 °C	~24.83	Hấp thụ	(Bera, Suin, Maiti, Shrivastava, & Khatua, 2015)
(GO/FF)/cement	(1/10)/0.3	2.5 ± 0.03m m	-	46.36 ± 0.68	Hấp thụ	(Singh, Mishra, Chandra, & Dhawan, 2011)
NiNPs/Hydrogel	1/10	~1mm	~520 °C	8.5	Hấp thụ	Nghiên cứu này
NiNPs/Hydrogel	2/10	~1mm	~551 °C	20	Hấp thụ	Nghiên cứu này
NiNPs/Hydrogel	3/10	~1mm	~571 °C	35	Hấp thụ	Nghiên cứu này
NiNPs/Hydrogel	4/10	~1mm	~595 °C	64	Hấp thụ	Nghiên cứu này

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Với các nghiên cứu về vật liệu chắn nhiễu điện từ, vật liệu xNiNPs/H đáp ứng đầy đủ về các tính chất về khả năng chắn nhiễu và tản nhiệt, vật liệu Nickel nanoparticles (NiNPs) được tổng hợp thành công bằng phương pháp khử với Hydrazine cho thấy kết quả hạt nano có độ kết tụ cao, đều và ổn định. Kết quả XRD cho thấy mẫu chuẩn bị với các tỷ lệ khác nhau có cấu trúc FCC, mặc dù hàm lượng giữa các mẫu khác nhau nhưng cấu trúc vật liệu vẫn không thay đổi.

Biểu đồ phân tích TGA đánh giá độ bền của vật liệu với nhiệt độ, cho kết quả mẫu vật liệu 10-20%NiNPs/H có xu hướng hao hụt nhiều và nhanh hơn về khối lượng, bên cạnh đó mẫu 30-40%NiNPs/H lại có xu hướng hao hụt ít hơn và đạt ổn định tại nhiệt độ cao hơn. Vật liệu có độ bền nhiệt cao lên đến 595 °C.

Tuy nhiên độ bền kéo của vật liệu giảm dần khi tăng hàm lượng NiNPs kết quả mẫu films 40%NiNPs/H kém bền nhất và mẫu 10%NiNPs/H có độ bền cơ học cao nhất.

Ngoài ra, kết quả chắn nhiễu điện từ cho thấy hàm lượng NiNPs càng tăng thì khả năng chắn nhiễu càng cao. Tổng hợp các kết quả mẫu films nano cho thấy điều kiện tốt nhất là mẫu 30%NiNPs/H với độ bền nhiệt cao, độ bền kéo tốt và khả năng chắn nhiễu điện từ ~30 dB chắn được 99,9% bức xạ EMI trong các thiết bị công nghiệp, đây là tỷ lệ mẫu tốt nhất để ứng dụng vào quy trình sản xuất thực tế.

2. Kiến nghị

Để nghiên cứu được hoàn thiện hơn cần nghiên cứu và phát triển thêm một vài yếu tố như:

- Nghiên cứu khảo sát về các cấu trúc khác nhau của vật liệu Nickel.
- Tiếp tục nghiên cứu và phát triển, khắc phục tình trạng oxy hóa của vật liệu Nickel. Bên cạnh đó có thể thay đổi phương pháp tổng hợp để tạo nên sợi nickel nano (NiNWs).
- Ứng dụng vào các thiết bị di động nhỏ gọn, cầm tay.