

NHÔM PHỦ TRÊN DÂY NANO KIM LOẠI NiSi_x HOẠT ĐỘNG NHƯ VẬT LIỆU ANODE CỦA THIẾT BỊ ẮC QUY (BATTERY) LITHIUM

Lê Đức Toàn*

Trường Đại học Phú Yên

Ngày nhận bài: 16/08/2021; Ngày nhận đăng: 01/10/2021

Tóm tắt

Nhôm (aluminum - Al) là vật liệu khá rẻ, thân thiện với con người và môi trường. Al kết hợp với các ion lithium (Li) tồn tại dưới dạng nhiều hợp kim có cấu hình khác nhau như AlLi , Al_2Li_3 , Al_4Li_9 ... Tùy vào dạng hợp kim được hình thành trong quá trình kết hợp mà khả năng tích trữ ion Li trong Al sẽ có giá trị khác nhau, giá trị lớn nhất có thể đạt được lên đến 2235 mAh/g (đối với hợp kim Al_4Li_9). Chính vì lẽ này Al là một trong những vật liệu tiềm năng cho việc nghiên cứu ứng dụng trong các thiết bị ắc quy. Trong bài báo này chúng tôi giới thiệu một cấu trúc điện cực anode mới của thiết bị ắc quy được xây dựng trên cơ sở sự kết hợp giữa vật liệu Al và dây nano kim loại NiSi_x .

Từ khóa: ắc quy, lithium, NiSi_xNWs , nhôm, biến đổi khí hậu...

1. Giới thiệu

Biến đổi khí hậu đang diễn ra ngày càng căng thẳng, đe dọa nghiêm trọng đến môi trường sống nhân loại. Một trong những lý do cơ bản của biến đổi khí hậu đến từ việc tăng nồng độ CO_2 thải ra từ các phương tiện, thiết bị sử dụng năng lượng trên cơ sở nhiên liệu hóa thạch. Để cắt giảm vấn đề này, nhân loại đang dần chuyển từ việc sử dụng động cơ đốt trong vận hành trên cơ sở nhiên liệu hóa thạch sang sử dụng các động cơ vận hành trên cơ sở năng lượng điện được tích trữ trong các thiết bị ắc quy. Sự phát triển mạnh mẽ của cuộc sống xã hội, hoạt động giao tiếp đòi hỏi các thiết bị nghe gọi thông minh (smart phone) hay máy tính cá nhân (laptop) phải có khả năng tích trữ năng lượng điện nhiều hơn, sử dụng lâu hơn. Với tất cả những lý do cơ bản này, các yêu cầu mới đặt ra đối với công nghệ ắc quy là phải thực hiện được

các bước cải tiến lớn để đáp ứng được tình hình mới. Đó là tạo ra các thiết bị ắc quy mới có khả năng tích trữ được lượng lớn điện năng, bền, và tiện dùng hơn như có khả năng sạc nhanh.

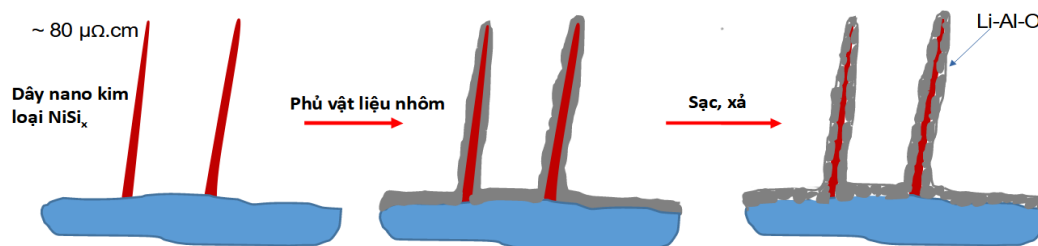
Có thể nói các thiết bị, phương tiện hoạt động trên cơ sở năng lượng điện được tích trữ trong các thiết bị ắc quy thì bộ phận ắc quy trở thành một trong những bộ phận yếu điểm nhất quyết định đến sự cạnh tranh của sản phẩm. Khả năng hoạt động của thiết bị ắc quy phụ thuộc vào nhiều bộ phận khác nhau như vật liệu cathode, vật liệu anode, electrolyte... Đối với vật liệu anode, theo lịch sử phát triển thì than chì (graphite) hiện vẫn là một vật liệu cơ bản nhất của ngành công nghiệp ắc quy, mặc cho khả năng tích trữ năng lượng điện của nó ở mức khá thấp (372 mAh/g) (Y. Qi và cộng sự, 2017). Lý do là rằng than chì có độ giãn khối khá thấp trong quá trình sạc và xả ion Li. Độ giãn chỉ khoảng 10% theo trục vuông góc với bề mặt màng than chì và

* Email: toanvatlieu@gmail.com

khoảng 1% theo phương nằm trong bề mặt than chì (Y. Qi và cộng sự, 2017), vì thế vật liệu than chì khá bền cho các ứng dụng thiết bị ắc quy. Hiện tại, các thiết bị ắc quy trên cơ sở ion Li, sử dụng than chì làm vật liệu anode có tuổi thọ hoạt động nằm trong khoảng 1000 đến 2000 lần sạc – xả (cycle) tùy vào độ sâu sạc, xả cũng như cách sử dụng. Chính sự hạn chế về khả năng tích trữ ion Li, nhiều vật liệu anode khác có khả năng ứng dụng trong các thiết bị ắc quy trên cơ sở ion Li được triển khai nghiên cứu. Điển hình trong số các vật liệu anode mới có thể kể đến gồm silicon (Si) với khả năng tích trữ năng lượng điện lên đến 3600 mAh/g, thiếc (Sn) có khả năng tích trữ lên đến 980 mAh/g (W. –J. Zhang, 2011). Tuy nhiên các vật liệu mới này có điểm hạn chế nghiêm trọng, đó là độ giãn khối của chúng trong quá trình sạc, xả ion Li quá lớn. Độ giãn khối của vật liệu Si trong quá trình sạc, xả lên đến 300 – 400%, kết quả là thiết bị ắc quy bị suy biến rất nhanh, khả năng tích trữ năng lượng điện giảm rất nhanh chỉ sau một số rất hạn chế chu kỳ sạc, xả. Chính bởi lý do này, hiện tại than chì vẫn đóng vai trò là vật liệu anode chính nhất trong ngành công nghiệp ắc quy.

Bên cạnh Si, Sn, than chì... thì Al cũng được xem là một trong những vật liệu đầy tiềm năng khác ứng dụng cho vật liệu anode của ắc quy. Tiềm năng ứng dụng này không chỉ đến từ việc Al là vật liệu khá rẻ, thân thiện với con người, môi trường sống. Các nghiên cứu đã chỉ rõ việc kết hợp của ion Li trong vật liệu Al tồn tại dưới dạng nhiều cấu hình hợp kim khác nhau như AlLi, Al₂Li₃, Al₄Li₉. Tùy vào dạng cấu hình hợp kim giữa Al và Li sẽ đưa đến những khả năng tích trữ ion Li khác nhau, so với các vật liệu khác thì mức tích trữ của nó

khá cao. Hợp kim Al₄Li₉ có tích trữ năng lượng điện lên đến 2235 mAh/g (B. Hallstedt, O. Kim, 2007), tuy nhiên sự hình thành của hợp kim này rất khó xảy ra ở điều kiện nhiệt độ phòng bình thường. Hợp kim khả dĩ xuất hiện nhất giữa Al và Li ở điều kiện nhiệt độ phòng là β -AlLi có mức tích trữ năng lượng điện lên đến 990 mAh/g (Y. Hamon và cộng sự, 2001). Tuy thế giống như các vật liệu anode Si hay Sn, vật liệu Al có độ giãn nở khối trong quá trình sạc, xả cũng khá lớn lên đến 95% (M. M. Thackeray và cộng sự, 2003), dẫn đến sự suy biến của ắc quy cũng khá nhanh. Điểm hạn chế này xảy ra với mọi dạng khác nhau của Al như màng, hạt nano hay dây nano. Để tìm hiểu lý do dẫn đến sự suy biến khá nhanh của vật liệu Al ở điện cực anode thiết bị ắc quy, năm 2011 Y. Liu cùng cộng sự đã thực hiện sự khảo sát chi tiết sự thay đổi cấu trúc vật liệu dây nano Al trong quá trình sạc, xả ion Li khi làm việc dưới dạng vật liệu anode trong thiết bị ắc quy dưới kính hiển vi điện tử truyền qua (Transmission electron microscopy – TEM) (Y. Liu và cộng sự, 2003). Kết quả chỉ ra rằng, vật liệu Al bị bột hóa trong quá trình nạp ion Li dẫn đến sự hình thành các hạt nano Al và tạo sự mất kết nối điện giữa vật liệu Al với điện cực. Kết quả cuối cùng dẫn đến sự mất khả năng tích trữ ion Li ở lần nạp các chu kỳ tiếp theo. Các nỗ lực tiếp theo của các nhà nghiên cứu là phải khắc phục được các nhược điểm này của vật liệu Al trong quá trình sạc, xả dưới dạng các cấu trúc hoặc hợp chất khác nhau. Trong nghiên cứu này, chúng tôi giới thiệu một cấu trúc điện cực anode mới kết hợp giữa vật liệu Al và dây nano kim loại NiSi_x dưới dạng cấu trúc lõi – vỏ như được chỉ ra trong hình 1.



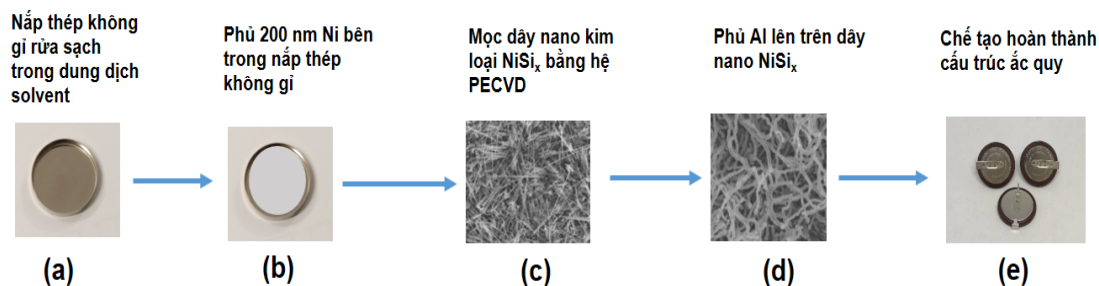
Hình 1. Mô hình cấu trúc lõi – vỏ kết hợp giữa vật liệu Al và dây nano NiSi_x dùng làm vật liệu anode cho thiết bị ắc quy Li.

Cơ sở ý tưởng cấu trúc được đề xuất là khi vật liệu Al được phủ trên dây nano kim loại NiSi_x sự bột hóa trong quá trình nạp ion Li tạo ra các hạt nano Al chúng được bảo vệ bên ngoài bởi màng kính Li-Al-O được tạo ra trong quá trình nạp ion Li vào màng alumina – Al_2O_3 (~ 5 nm) ở chu kỳ đầu tiên. Bên trong các hạt nano Al vẫn tiếp xúc với lõi kim loại NiSi_x (có điện trở suất khoảng $80 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ (L. D. Toan và cộng sự, 2016)) vì vậy chúng vẫn kết nối điện với điện cực anode. Điều này sẽ cải thiện đáng kể tuổi thọ của thiết bị ắc quy hoạt động trên cơ sở vật liệu Al ở điện cực anode.

2. Thực nghiệm

Thiết bị chính được sử dụng để chế tạo cấu trúc đề xuất trong trường hợp này là hệ thống lắng đọng pha hơi hóa học với sự trợ giúp của plasma - PECVD (Plasma enhanced chemical vapor deposition). Chúng tôi chế tạo thiết bị ắc quy khảo sát trong khuôn khổ phòng thí nghiệm được thực hiện trên nắp thép không gỉ (coin cell) có đường kính 2 cm (Hình 2(a)). Nắp thép không gỉ sau khi rửa sạch trong dung dịch solvent (5 phút rung siêu âm lần lượt qua các dung dịch axeton, isopropanol và etanol) được phủ một lớp kim loại Niken (Ni) 200 nm (Hình 2(b)) làm vật liệu xúc tác cho việc mọc dây nano kim loại NiSi_x . Nắp thép không gỉ sau khi phủ 200 nm Ni được đưa vào trong buồng của hệ thống PECVD cho việc mọc dây nano kim loại NiSi_x

(Hình 2(c)). Việc mọc dây nano được thực hiện trong thời lượng 15 phút ở nhiệt độ 500°C . Tỷ lệ khí H_2 và SiH_4 được sử dụng trong quá trình mọc dây là 47/3 sccm, áp suất buồng được giữ ở giá trị 100 Torr trong quá trình mọc dây. Sau khi kết thúc thời lượng mọc dây, đợi nhiệt độ buồng PECVD xuống đến nhiệt độ phòng mới thực hiện lấy mẫu ra khỏi buồng. Việc này sẽ tạo điều kiện hạn chế tối đa sự hình thành màng oxide bao quanh dây nano NiSi_x gây nên sự cách điện giữa màng Al và bề mặt dây nano kim loại NiSi_x dẫn đến giảm hiệu quả hoạt động của thiết bị. Sau khi nắp thép không gỉ với dây nano NiSi_x mọc trên đó được lấy ra khỏi buồng PECVD nhanh chóng được chuyển đến thiết bị bốc bay nhiệt (thermal evaporator) để phủ màng Al có độ dày khoảng 80 nm bao quanh dây nano NiSi_x (Hình 2(d)). Màng Al này sẽ đóng vai trò là vật liệu hoạt động ở điện cực anode cho thiết bị ắc quy, để nạp ion Li cho quá trình trữ điện. Hình thái cấu trúc dây nano NiSi_x , cũng như sau khi phủ màng Al được kiểm tra dưới kính hiển vi điện tử quét SEM (Scanning Electron Microscope). Để tăng cường sự kết nối giữa màng Al và bề mặt dây nano kim loại NiSi_x , cũng như sự gắn kết giữa các hạt Al trong màng, màng Al sau khi phủ trên dây nano kim loại NiSi_x được nung ủ nhiệt trong môi trường khí H_2 ở nhiệt độ 300°C trong 30 phút trước khi chế tạo thiết bị ắc quy.

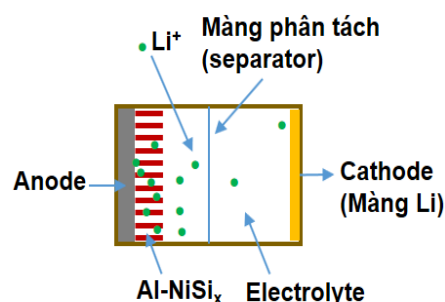


Hình 2. Quy trình chế tạo thiết bị ắc quy Lithium trên cơ sở dây nano kim loại $NiSi_x$ phủ vật liệu Al.

Khối lượng màng Al phủ trên dây nano kim loại $NiSi_x$ trên nắp thép không gỉ đường kính 2 cm cần được xác định chính xác cho việc tính mật độ tích trữ năng lượng điện của vật liệu trong quá trình nạp và xả ion Li. Tuy nhiên khối lượng màng Al trên dây nano $NiSi_x$ trên nắp thép không gỉ là rất bé, cân điện tử không thể xác định được nếu cân trực tiếp. Để khắc phục điều này chúng tôi thực hiện mọc và phủ màng Al trên dây nano kim loại $NiSi_x$ trên một bề mặt để rộng có diện tích $5 \times 5 \text{ cm}^2$. Diện tích rộng lớn này sẽ tích đủ khối lượng Al ở mức cân điện tử có thể hoạt động được. Sau khi xác định được khối lượng màng Al trên diện tích $5 \times 5 \text{ cm}^2$, khối lượng màng Al trên diện tích của nắp thép không gỉ dùng trong thí nghiệm này sẽ được xác định dựa trên sự tương ứng về diện tích. Trong trường hợp thí nghiệm này khối lượng màng Al được xác định khoảng $2.54 \times 10^{-4} \text{ g}$.

Nắp thép không gỉ sau khi phủ vật liệu Al trên dây nano $NiSi_x$ được đưa vào bên trong buồng Argon (Glove box) cho quá trình chế tạo thiết bị ắc quy. Sỡ dĩ phải thực hiện việc chế tạo thiết bị ắc quy bên trong buồng Argon là vì điện cực cathode sử dụng cho thiết bị ắc quy trong trường hợp này là màng kim loại Li, đây là vật liệu rất dễ bị oxi hóa trong môi trường khí quyển. Cấu trúc thiết bị ắc quy chế tạo trong nghiên cứu này được thể hiện trên hình 3. Màng phân tách (separator) được

đặt ở giữa hai điện cực cathode và anode nằm trong electrolyte (1M $LiClO_4$ in PC (propylene carbonate)) nhằm ngăn cản sự duy chuyển của điện tử giữa hai cực cathode và anode (tránh xảy ra hiện tượng ngắn mạch dẫn đến cháy nổ thiết bị ắc quy). Vai trò của electrolyte là tạo môi trường cho sự duy chuyển của ion Li từ điện cực cathode đến điện cực anode và ngược lại trong quá trình nạp – xả ion Li.



Hình 3. Cấu trúc thiết bị ắc quy hoàn chỉnh

Thiết bị ắc quy sau khi chế tạo hoàn chỉnh được khảo sát quá trình sạc - xả thông qua hệ thống EC-Lab V10.10.

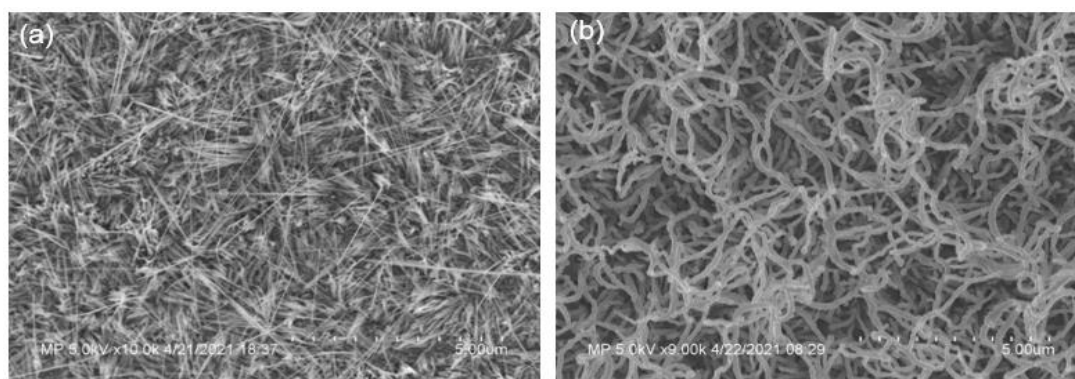
3. Kết quả và thảo luận

Hình 4 thể hiện rõ hình thái cấu trúc dây nano kim loại $NiSi_x$ trước (hình 4(a)) và sau khi phủ màng Al (hình 4(b)). Dây nano kim loại $NiSi_x$ mọc trong khoảng thời gian 15 phút có đường kính trong khoảng từ 10 – 15 nm và có chiều dài khoảng 10 μm . Sau khi phủ màng Al đường kính tổng cộng của dây khoảng 150 nm, từ đó ta tìm được độ dày màng Al phủ xung quanh dây nano kim loại $NiSi_x$ khoảng 70 nm. Độ dày

màng Al có ảnh hưởng lớn đến độ bền hoạt động của thiết bị ắc quy theo quan hệ độ dày càng lớn sự giãn nở khối của màng càng lớn trong quá trình sạc – xả, dẫn đến sự vỡ vụn (do quá trình bột hóa) sẽ nhanh hơn. Chính vì lý do này trong nghiên cứu này chúng tôi chọn độ dày màng Al ở mức rất mỏng (dưới 100 nm) để khảo sát cho thí nghiệm đầu tiên và sẽ tối ưu hóa trong quá trình nghiên cứu để tìm ra độ dày màng Al tối ưu nhất.

Hình 5 tổng hợp các kết quả sạc – xả thiết bị ắc quy ở dòng hoạt động 30 μ A (Quá trình sạc ion Li vào Al được thực hiện ở dòng 30 μ A, quá trình xả ion Li về lại cathode cũng được thực hiện ở dòng này), tốc độ sạc – xả tương ứng là 60 mA/g. Giới hạn điện thế của thiết bị hoạt động trong khoảng 0 – 3 V trong quá trình sạc – xả (thiết bị dùng nạp ion Li vào Al ở điện thế 0 V và dùng xả ion Li về lại cathode ở điện thế 3 V). Hình 5(a) thể hiện mối quan hệ giữa hiệu điện thế giữa 2 cực cathode và anode của thiết bị ắc quy theo thời gian hoạt động. Ta có thể nhận thấy theo thời gian giai đoạn nạp ion và xả ion Li ở các chu kỳ kế tiếp nhau đều giảm dần. Kết quả này chứng tỏ rằng độ bền vững của vật liệu anode trong trường hợp này thấp, hệ quả

kéo theo là khả năng tích trữ năng lượng điện giảm rất nhanh ở các chu kỳ kế tiếp nhau như thấy ở hình 5(b). Từ mật độ năng lượng tích trữ ban đầu khoảng 1100 mAh/g ở chu kỳ thứ 2, mật độ tích trữ năng lượng đã giảm xuống tại thời điểm bão hòa chỉ còn khoảng 300 mAh/g. Nghĩa là mật độ năng lượng tích trữ lúc ổn định chỉ còn khoảng 27% so với ban đầu. Mặc dầu hiệu suất Coulombic (Coulombic efficiency) hoạt động của ắc quy trong trường hợp này khá cao (khoảng 97%) được thể hiện trên đường màu xanh trong biểu đồ hình 5(b). Giá trị hiệu suất Coulombic là tỉ số giữa năng lượng tích trữ xả được trong quá trình xả ion Li và năng lượng tích trữ được trong quá trình nạp ion Li. Giá trị hiệu suất Coulombic càng cao chứng tỏ độ ổn định thiết bị ắc quy càng cao. Chú ý rằng trong trường hợp này, mật độ năng lượng tích trữ của thiết bị ắc quy ta tính từ chu kỳ thứ 2 bởi ở chu kỳ sạc – xả đầu một lượng lớn ion Li sẽ được tiêu thụ cho quá trình tạo màng SEI (solid electrolyte interface) và màng kính Li-Al-O ngăn cách giữa màng Al và electrolyte. Vai trò của màng SEI và Li-Al-O là ngăn cản điện tử trong vật liệu anode tiếp xúc với electrolyte và gây ra sự phân tách của electrolyte.



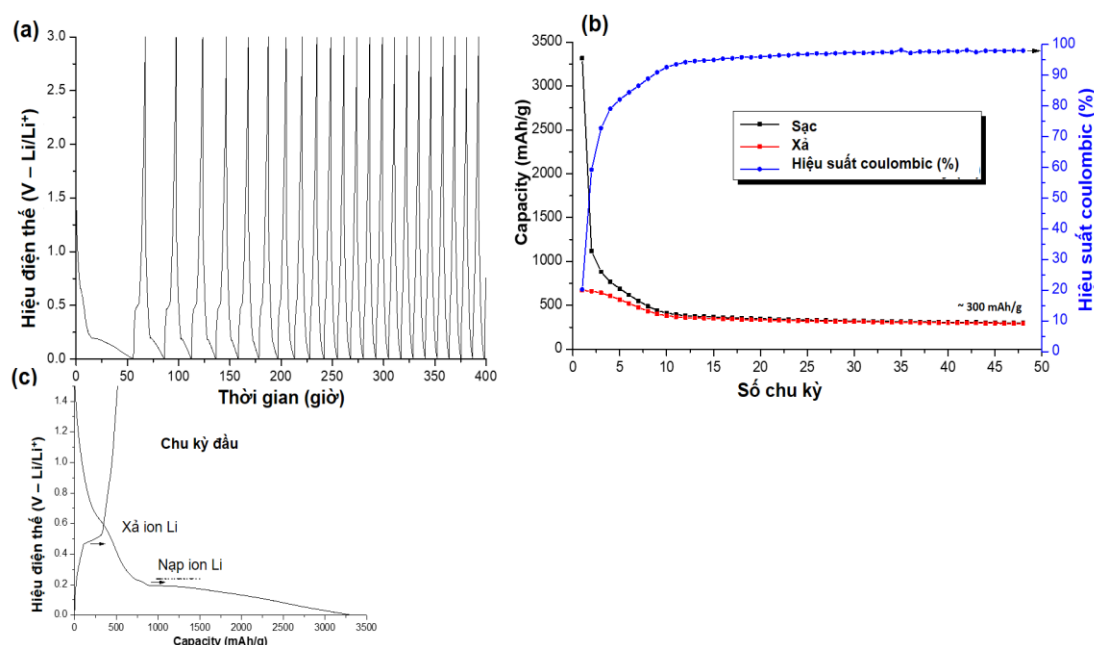
Hình 4. Dãy nano kim loại $NiSi_x$ trước (a) và sau khi phủ vật liệu Al (b)

Hình 5(c) thể hiện rõ quá trình sạc – xả ion Li trong chu kỳ đầu. Quá trình nạp

ion Li bắt đầu từ việc tiêu thụ ion Li cho quá trình hình thành màng kính Li-Al-O ở

hiệu điện thế khoảng 0.7 V, song song với quá trình này là sự hình thành màng SEI. Lượng ion Li tiêu thụ cho quá trình hình thành màng kính Li-Al-O và màng SEI chiếm khoảng 700 mAh/g trước khi quá trình nạp ion Li cho vật liệu Al diễn ra. Quá trình nạp ion Li cho màng Al diễn ra từ sau giá trị mật độ năng lượng 700 mAh/g và dừng lại ở giá trị khoảng 1700 mAh/g. Từ sau giá trị 1700 mAh/g ta nhận thấy ion Li vẫn tiếp tục được tiêu thụ, tình huống này có thể có nhiều dự đoán khác nhau. Theo tính toán lý thuyết tại nhiệt độ phòng sự kết hợp giữa ion Li và Al chỉ có thể hình thành

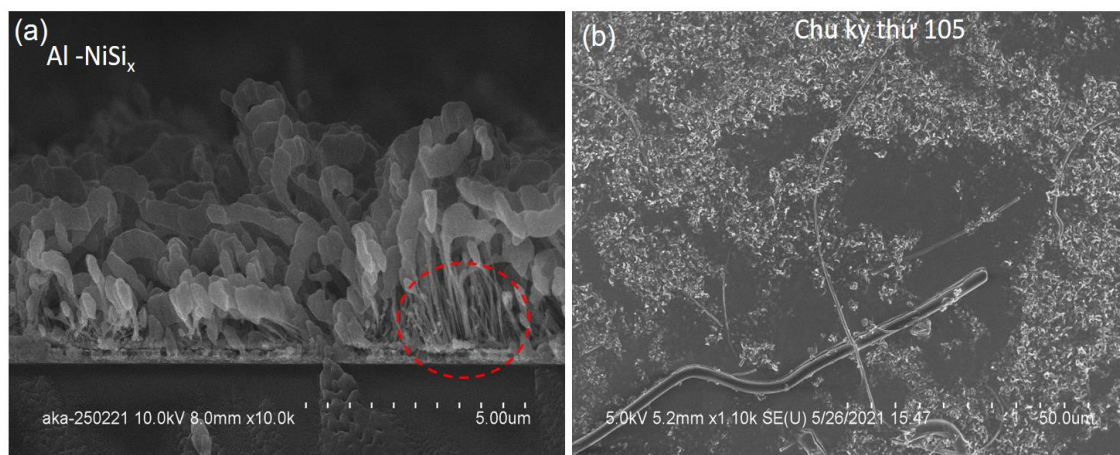
hợp kim AlLi, hợp kim này sẽ tính trừ năng lượng khoảng 1000 mAh/g. Trong trường hợp này cần phải kiểm tra x-ray để biết chính xác pha được hình thành, bởi lẽ như đã đề cập trong phần giới thiệu hợp kim Al_4Li_9 có thể tích trữ năng lượng lên đến 2235 mAh/g. Tuy nhiên trường hợp này rất khó xảy ra trong điều kiện bình thường. Việc tiếp tục tiêu thụ ion Li cũng có thể xảy ra theo hướng khác, đó là mặc dù màng kính Li-Al-O và SEI đã hình thành trước đó nhưng có thể bị vỡ, electrolyte bị phân tách dẫn đến ion Li sẽ bị tiêu thụ thêm để hình thành mới màng SEI.



Hình 5. (a) Quan hệ giữa hiệu điện thế và thời gian trong quá trình sạc xả ở những chu kỳ kế tiếp nhau; (b) Quan hệ giữa capacity (năng lượng tích trữ) và số chu kỳ; (c) Quan hệ giữa hiệu điện thế và capacity trong chu kỳ đầu.

Quá trình xả ion Li được bắt đầu từ việc rút ion Li ra khỏi dung dịch rắn của hợp kim LiAl, quá trình này diễn ra trong khoảng hiệu điện thế từ 0 đến 0.45 V. Tiếp sau đó là quá trình rút ion Li ra khỏi hợp

kim LiAl (đường cong điện thế gần phẳng). Sau đó khi điện thế tiếp tục tăng, ion Li sẽ tiếp tục được rút ra khỏi dung dịch rắn Al (nơi mà không có đủ Li để hình thành nên hợp kim AlLi).



Hình 6. (a) Mặt cắt ngang cấu trúc điện cực anode sau khi phủ màng Al; (b) Bề mặt thép không gỉ sau quá trình xả ion ở chu kỳ thứ 105.

Vấn đề ở đây là tại sao sự suy biến của điện cực anode diễn ra khá nhanh, để lý giải điều này chúng tôi đã mở thiết bị ắc quy sau quá trình xả ion Li ở chu kỳ thứ 105. Hình 6(b) chỉ rõ tình trạng bề mặt nắp thép không gỉ sau quá trình xả ion Li ở chu kỳ thứ 105. Chúng tôi nhận thấy hầu hết dây nano kim loại NiSi_x đã bị tách ra khỏi đế và dẫn đến sự mất kết nối giữa vật liệu Al và điện cực anode, dẫn đến sự mất khả năng tích trữ năng lượng điện của ắc quy. Lý do của vấn đề này là mật độ dây nano kim loại NiSi_x mọc khá dày, dẫn đến phần gốc của chúng không được phủ kín bởi vật liệu Al (Hình 6(a) vùng khoanh tròn đỏ). Kết quả dẫn đến cấu trúc lõi – vỏ Al- NiSi_x dễ dàng bị tách khỏi đế trong điều kiện sạc, xả liên tục. Để khắc phục điều này chúng tôi sẽ tiếp tục tối ưu hóa quy trình mọc dây nano kim loại NiSi_x để tạo ra mật độ dây mỏng hơn, dây có đường kính lớn hơn,

chiều dài dây ngắn hơn để giảm tối đa sự bóc tách khỏi bề mặt điện cực thép không gỉ anode trong quá trình sạc – xả.

4. Kết luận

Trong bản văn này, chúng tôi trình bày việc xây dựng thành công một cấu trúc điện cực anode mới của thiết bị ắc quy trên cơ sở sự kết hợp giữa vật liệu Al và dây nano kim loại NiSi_x trong cấu trúc lõi – vỏ. Hiện tại cấu trúc còn nhiều hạn chế như tốc độ suy biến của điện cực anode diễn ra khá nhanh, mật độ tích trữ năng lượng điện ở thời điểm bão hòa còn thấp $\sim 300 \text{ mAh/g}$ (so với lý thuyết khoảng 1000 mAh/g). Các nguyên nhân dẫn đến sự hạn chế đã được xác định rõ như trong phần thảo luận, trong thời gian đến chúng tôi sẽ tiếp tục cải tiến thêm cấu trúc theo các hướng đã đề cập để tăng tối đa mật độ tích trữ năng lượng của cấu trúc □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Y. Qi, H. Guo, L. G. Hector Jr., A Timmons (2010). “*Threefold increase in the Young’s modulus of graphite negative electrode during lithium intercalation*”, J. Electrochem. Soc., p. A558, vol. 157.
- W. –J. Zhang (2011). “*A review of the electrochemical performance of alloy anodes for*

- lithium-ion batteries*”, J. Power Sources, p. 13, vol. 196.
- B. Hallstedt, O. Kim (2007). “*Thermodynamic assessment of the Al-Li system*”, Int. J. Mat. Res., p. 961, vol. 98.
- Y. Hamon, T. Brousse, F. Jousse, P. Topart, P. Buvat, D. M. Schleich (2001). “*Aluminum negative electrode in lithium ion batteries*”, J. Power Sources, p.185, vols. 97-98.
- M. M. Thackeray, J. T. Vaughey, C. S. Johnson, A. J. Kropf, R. Benedek, L. M. L. Fransson, K. Edstrom (2003). “*Structural considerations of intermetallic electrodes for lithium batteries*”, J. Power Sources, p. 124, vol. 113.
- Y. Liu, N. S. Hudak, D. L. Huber, S. J. Limmer, J. P. Sullivan, J. Y. Huang (2011). “*In situ transmission electron microscopy observation of pulverization of aluminum nanowires and evolution of the thin surface Al₂O₃ layers during lithiation/delithiation cycles*”, Nano Lett., p. 4188, vol. 11.
- L. D. Toan, E. Moyen, M. R. Zamfir, Y. W. Kim, J. Joe, Y. H. Lee, D. Pribat (2016). “*Connecting wire-based solar cells without any transparent conducting electrode*”, CrystEngComm, p.207-212, vol. 18.

ALUMINUM COATED ON METAL NiSi_x NANOWIRES WORKS AS AN ANODE MATERIAL FOR LITHIUM BATTERY

Le Duc Toan

Phu Yen University

Email: toanvatlieu@gmail.com

Received: August 16, 2021; Accepted: October 01, 2021

Abstract

Aluminum (Al) is quite cheap, friendly with people and environment. Al combines with lithium (Li) ions in many different alloys such as AlLi, Al₂Li₃, Al₄Li₉... Every alloy has a different value of Li ion capacity, for Al₄Li₉ the capacity can reach 2235 mAh/g. Based on this background Al is a very big potential material for researching and development in battery application. In this manuscript, we introduce a new anode structure for Li battery based on the combination between Al and metal NiSi_x nanowires under core-shell structure.

Keywords: *battery, lithium, NiSi_xNWs, aluminum, climate change...*