

Pin hạt nhân sử dụng Am-241 của Phòng Thí nghiệm Hạt nhân quốc gia (Vương quốc Anh).

KỸ THUẬT HẠT NHÂN TRONG SẢN XUẤT PIN NĂNG LƯỢNG

Đỗ Ngọc Điệp

Vụ Năng lượng Nguyên tử, Bộ Khoa học và Công nghệ

“

Mới đây, các nhà khoa học đã chế tạo thành công loại pin năng lượng hạt nhân với kích thước nhỏ hơn đồng tiền xu nhưng có khả năng vận hành liên tục 50 năm mà không cần sạc; thiết kế nhiều lớp giúp pin không bắt lửa hoặc phát nổ khi bị tác động vật lý, đồng thời có khả năng hoạt động ở nhiệt độ từ -60 đến 120°C. Loại pin này có thể đảm bảo nhu cầu năng lượng vận hành lâu dài trong nhiều ứng dụng, chẳng hạn như thiết bị trên tàu vũ trụ, thiết bị y tế, chip vi xử lý, cảm biến, drone hay robot siêu nhỏ... Với thành tựu của công nghệ hiện đại, trong tương lai, pin hạt nhân sẽ được phát triển và ứng dụng trong nhiều lĩnh vực của đời sống, xã hội.

”

Từ pin năng lượng đến pin hạt nhân

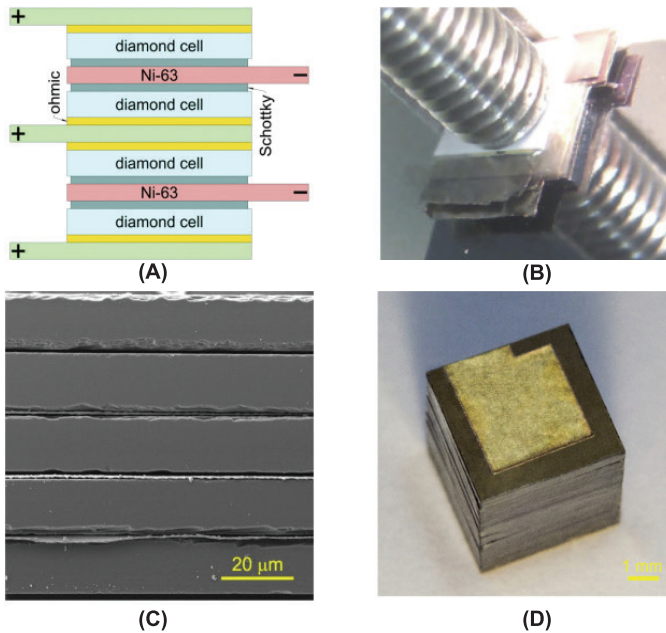
Các loại pin thông thường hiện nay cung cấp năng lượng cho đồng hồ, đèn chiếu sáng, đồ chơi và các thiết bị điện khác dựa trên phản ứng oxy hóa khử, trong đó các electron (hay điện tử) được chuyển từ điện cực này sang điện cực khác thông qua chất điện phân. Các electron di chuyển để cân bằng điện thế sẽ tạo ra dòng điện. Các loại pin hóa học đó được đặc trưng bởi mật độ năng lượng cao, tức là tỷ lệ giữa công suất của dòng điện được tạo ra và thể tích của pin. Tuy nhiên, phản ứng hóa học sinh điện trong thời gian tương đối ngắn đã hạn chế khả năng ứng dụng của pin trong các thiết bị tự động, đặc biệt là việc thay thế pin trong quá trình sử dụng. Điều này có thể gây nguy hiểm trong nhiều trường hợp như đối với máy điều hòa nhịp tim hay thiết bị cung cấp năng lượng cho tàu vũ trụ.

Năm 1913, nhà khoa học người Anh Henry Moseley đã chế tạo ra máy phát điện đầu tiên dựa trên sự phân rã phóng xạ. Pin hạt nhân của ông bao gồm 1 quả cầu thủy tinh được mạ bạc ở bên trong với 1 bộ phát radi gắn ở giữa trên một điện cực được cách ly. Các electron sinh ra từ sự phân rã beta của radi đã gây ra sự chênh lệch điện thế giữa màng bạc và điện cực trung tâm. Năm 1953, nhà khoa học Mỹ Paul Rappaport đã đề xuất sử dụng vật liệu bán dẫn để chuyển năng lượng của phân rã beta thành điện năng. Pin được cấp nguồn bằng phân rã beta được gọi là betavoltaics [1]. Ưu điểm chính của betavoltaics so với các dạng sinh điện thông thường là tuổi thọ của chúng. Đồng vị phóng xạ được sử dụng trong pin hạt nhân có chu kỳ bán rã, từ hàng chục đến hàng trăm năm, do đó công suất phát của chúng gần như không đổi trong một thời gian rất dài. Từ những năm



1970, betavoltaics đã được sử dụng để cung cấp năng lượng cho máy điều hòa nhịp tim [2].

Năm 2018, nhóm nghiên cứu do Vladimir Blank - Viện trưởng Viện Công nghệ vật liệu siêu cứng và Carbon mới (TISNCM), kiêm Trưởng Khoa Vật lý và Hóa học cấu trúc nano - Viện Vật lý và Công nghệ Moscow - MIPT (Liên bang Nga) dẫn đầu đã nghĩ ra cách tăng mật độ năng lượng của pin hạt nhân lên gần gấp 10 lần. Nhóm nghiên cứu đã phát triển và chế tạo pin betavoltaics sử dụng Ni-63 làm nguồn bức xạ và điốt kim cương dựa trên rào chắn schottky để chuyển đổi năng lượng. Pin nguyên mẫu đạt được công suất đầu ra khoảng 1 μ W, trong khi mật độ năng lượng trên mỗi cm^3 là 10 μ W, đủ cho một máy điều hòa nhịp tim nhân tạo hiện đại. Ni-63 có chu kỳ bán rã 100 năm, do đó pin cung cấp năng lượng khoảng 3.300 mWh/g , gấp 10 lần so với pin điện hóa thông thường [3].



Cấu trúc cơ bản của pin hạt nhân sử dụng Ni-63 (A), chế tạo pin hạt nhân (B), các lớp tế bào kim cương (C) và nguyên mẫu pin hạt nhân sử dụng Ni-63 (D).

Năm 2016, các nhà nghiên cứu thuộc Đại học Khoa học và Công nghệ Quốc gia (MISIS), Liên bang Nga đã đưa ra một nguyên mẫu pin betavoltaic dựa trên Ni-63. Một nguyên mẫu pin hạt nhân khác được TISNCM đưa ra trình diễn tại Atomexpo 2017, có thể tích hoạt động là 1,5 cm^3 . Trở ngại chính trong việc thương mại hóa pin hạt nhân ở Nga là thiếu cơ sở sản xuất và làm giàu Ni-63. Tuy nhiên, Chính phủ Liên bang Nga đã có kế hoạch triển khai sản xuất Ni-63 ở quy mô công nghiệp vào giữa những năm 2020; đồng thời phát triển bộ chuyển đổi kim

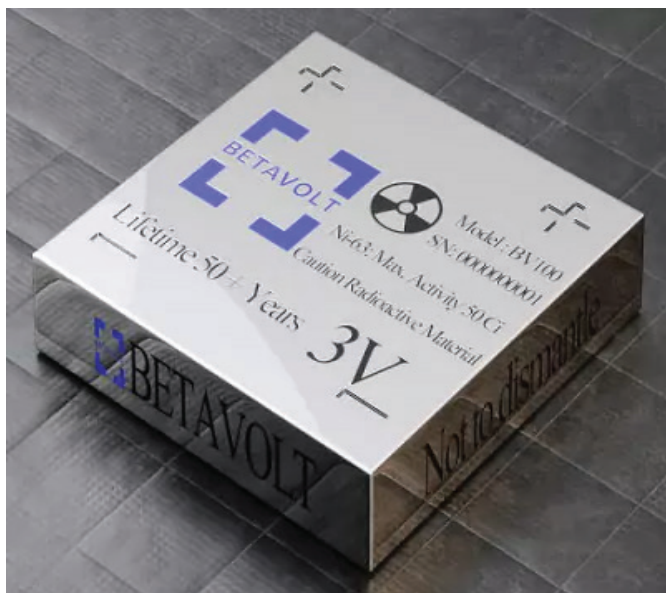


Nguyên mẫu pin gammavoltaic của Arkenlight, trong đó chuyển đổi năng lượng từ tia gamma trong chất thải hạt nhân thành điện năng.

cương khác có thể được chế tạo bằng cách sử dụng C-14 với chu kỳ bán rã rất dài, lên tới 5.700 năm.

Đầu năm 2024, Công ty Startup Betavolt (Trung Quốc) đã công bố sản phẩm pin hạt nhân mới được cải tiến và chế tạo từ nguyên lý pin betavoltaics. Startup Betavolt cho biết sản phẩm này sẽ không bắt lửa hoặc phát nổ khi bị tác động vật lý, không giống như một số loại pin hiện nay có thể không an toàn nếu bị hư hỏng hoặc tiếp xúc với nhiệt độ cao [4]. Pin của Startup Betavolt có kích thước nhỏ hơn đồng tiền xu với năng lượng đủ vận hành liên tục 50 năm mà không cần sạc. Đặc biệt, pin có thể đảm bảo nhu cầu năng lượng vận hành lâu dài trong nhiều ứng dụng, chẳng hạn như thiết bị trên tàu vũ trụ, thiết bị y tế, chip vi xử lý, cảm biến, drone và robot siêu nhỏ. Pin hạt nhân đầu tiên này có thể cung cấp 100 μ W điện và điện áp 3 V trong khi có kích thước chỉ 15x15x5 mm [4]. Nhờ kích thước nhỏ, pin hạt nhân được kỳ vọng có thể giúp điện thoại di động không bao giờ cần sạc và máy bay không người lái có thể bay liên tục, lâu dài. Với thiết kế nhiều lớp giúp pin không bắt lửa hoặc phát nổ khi bị tác động vật lý, đồng thời có khả năng hoạt động ở nhiệt độ từ -60 đến 120°C [4]. Loại pin này có thể cách mạng hóa thiết bị điện tử bằng cách loại bỏ hoàn toàn nhu cầu về bộ sạc hoặc pin dự phòng di động, giúp các thiết bị chạy liên tục mà pin không bị suy giảm về công suất cũng như tuổi thọ qua các chu kỳ sạc như pin lithium. Nguồn năng lượng vô hạn như vậy rất hữu ích cho máy bay không người lái, điện thoại và ô tô điện [5]. Lợi thế mà pin hạt nhân mang lại là khả năng vận hành: không có tình trạng tự xả pin, tự tạo năng lượng trong vòng 50 năm liên tục, không có chu kỳ sạc/xả như pin lithium, công suất điện đầu ra ổn định, không bị ảnh hưởng bởi môi trường và có thể hoạt động ở nhiệt độ khắc nghiệt, kể cả ở Trái đất hay ngoài không gian.

Về mặt công nghệ và chất liệu, những hạt phóng xạ beta bắn ra từ nguyên tử Ni-63 trong quá trình phân rã



Công ty Betavolt đã phát triển một loại pin có thể cung cấp năng lượng cho điện thoại di động không cần sạc và máy bay không người lái có thể hoạt động đến 50 năm.

được hấp thụ bởi lớp bán dẫn kim cương nhân tạo với độ dày 10 micron. Sở dĩ chọn kim cương nhân tạo thay vì silicon phổ biến trong ngành bán dẫn hiện giờ là vì độ bền điện môi của kim cương cao gấp 3 lần silicon và khả năng dẫn điện khi bị tác động bởi nhiệt cũng cao hơn hẳn. Lớp Ni-63 dày 2 micron được đặt giữa hai lớp điện giải bán dẫn kim cương và chỉ cần một cụm như thế đã đủ để tạo ra một cục pin [5].

Ứng dụng của pin hạt nhân

Các nhà khoa học của Liên bang Nga và Mỹ đã phát triển pin hạt nhân để sử dụng trong tàu vũ trụ, hệ thống thám hiểm dưới nước và các trạm khoa học từ xa. Ngoài ra, pin hạt nhân còn có triển vọng trong lĩnh vực y tế. Hầu hết các máy tạo nhịp tim hiện đại đều có kích thước trên 10 cm³ và cần khoảng 10 μW điện. Điều này có nghĩa là chỉ có pin hạt nhân mới có thể được sử dụng để cung cấp năng lượng cho các thiết bị đó mà không có bất kỳ thay

đổi đáng kể nào về thiết kế và kích thước của chúng. Về vật liệu, kim cương là một trong những chất bán dẫn có khả năng chống bức xạ tốt nhất. Vì nó cũng có dải cấm lớn nên có thể hoạt động ở phạm vi nhiệt độ rộng, khiến nó trở thành vật liệu lý tưởng cho pin hạt nhân.

Tại Vương quốc Anh, Cơ quan Vũ trụ Vương quốc Anh và Phòng thí nghiệm Hạt nhân Quốc gia (NNL) hiện đang hợp tác để chế tạo pin dùng trong lĩnh vực vũ trụ không gian đầu tiên trên thế giới chạy bằng Americi-241 (Am-241). Đồng vị này được chiết xuất từ nhiên liệu hạt nhân đã qua sử dụng, lưu trữ tại bang Cumbria. Pin chạy bằng Am-241 dự kiến sẽ hoạt động vào năm 2026, có thể sẽ được sử dụng lần đầu tiên trong sứ mệnh Argonaut của Cơ quan Vũ trụ châu Âu lên Mặt trăng và cho các hoạt động không gian trong tương lai. Nghiên cứu này được thực hiện thông qua sự hỗ trợ của Cơ quan Vũ trụ Vương quốc Anh, áp dụng kinh nghiệm hàng thập kỷ trong việc tách và tinh chế vật liệu hạt nhân đã qua sử dụng nhằm mang lại những lợi ích to lớn và đi vào mục đích trọng tâm của khoa học hạt nhân.

Thay lời kết

Pin hạt nhân được chế tạo theo nguyên tắc phân rã các chất phóng xạ, giải phóng năng lượng. Pin hạt nhân đã được sử dụng trong các lĩnh vực quân sự và hàng không vũ trụ, nhưng hiện vẫn có kích thước lớn, khả năng lưu trữ và sản sinh năng lượng còn hạn chế. Một trong những khó khăn của phát triển pin là cải thiện hiệu suất và kích thước pin. Mặc dù, pin hạt nhân có những ưu điểm vượt trội như: năng lượng và tốc độ sản sinh năng lượng không bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ, phản ứng hóa học, áp suất, trường điện từ hay các dạng môi trường; thời gian hoạt động rất dài, thậm chí có thể lên tới 5.000 năm..., nhưng pin hạt nhân cũng có những nhược điểm nhất định cần khắc phục khi đưa vào sử dụng phổ biến trong đời sống. Hy vọng rằng, với thành tựu của công nghệ hiện đại, trong tương lai, pin hạt nhân sẽ được phát triển và ứng dụng trong nhiều lĩnh vực của đời sống xã hội ☞

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Cơ quan Năng lượng Nguyên tử Canada (1998), *Kỷ yếu Hội nghị thường niên lần thứ 9 của Hiệp hội Hạt nhân Canada*.
- [2] M. Prelas, C.L. Weaver, M.L. Watermann, et al. (2014), "A review of nuclear batteries", *Progress in Nuclear Energy*, **75**, pp.117-148.
- [3] V.S. Bormashov, S.Yu. Troschiev, S.A. Tarelkin, et al. (2018), "High power density nuclear battery prototype based on diamond Schottky diodes", *Elsevier, Diamond and Related Materials*, **84**, pp.41-47.
- [4] Đinh Bảo (2024), "Pin hạt nhân nhỏ hơn đồng xu của Trung Quốc sẽ ra mắt vào năm 2025", <https://www.techtimes.vn/pin-hat-nhan-nho-hon-dong-xu-cua-trung-quoc-se-ra-mat-vao-nam-2025>, truy cập ngày 26/01/2024.
- [5] A. Krasnov, S. Legotin, K. Kuzmina, et al. (2019), "A nuclear battery based on silicon p-i-n structures with electroplating 63Ni layer", *Nuclear Engineering and Technology*, **51(8)**, pp.1978-1982.