

ĐẤT HIẾM VÀ TIỀM NĂNG ỨNG DỤNG CỦA ĐẤT HIẾM

Mở đầu

Trong bối cảnh toàn cầu hóa và cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư đang diễn ra mạnh mẽ, nhân loại đang chứng kiến những bước chuyển mình lớn hướng tới một nền kinh tế tuần hoàn và phát triển bền vững. Điểm cốt lõi của sự chuyển dịch này chính là sự bùng nổ của các công nghệ tiên tiến và xu hướng chuyển đổi xanh. Trong bức tranh công nghệ phức tạp đó, có một nhóm vật liệu đóng vai trò như *linh hồn của nền công nghiệp hiện đại*, không thể thay thế và mang tính sống còn đối với sự tiến bộ của khoa học kỹ thuật: đó chính là đất hiếm. Mặc dù thường chỉ chiếm một hàm lượng rất nhỏ trong các thiết bị và siêu vật liệu, vai trò của đất hiếm trong thời đại ngày nay là vô cùng to lớn và mang tính quyết định.

Đất hiếm là chìa khóa công nghệ cho hàng loạt các lĩnh vực mũi nhọn. Chúng là nền tảng cốt lõi để chế tạo các hệ thống linh kiện quang - điện - hóa, chip bán dẫn, màn hình độ phân giải cao, và các thiết bị viễn thông, radar trong cả dân sự lẫn quân sự. Đặc biệt, trong bối cảnh thế giới đang nỗ lực giảm thiểu sự phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch, các nguyên tố đất hiếm như Neodymium (Nd), Cerium (Ce), Europium (Eu) hay Erbium (Er) đóng vai trò nền tảng trong việc định hình các công nghệ năng lượng xanh. Chúng hiện diện trong nam châm vĩnh cửu của tuabin gió, động cơ xe điện (EV), và đóng vai trò là chất xúc tác hoặc chất pha tạp quan trọng trong các vật liệu tiên tiến phục vụ quá trình tách nước tạo hydrogen, chuyển hóa CO₂ hay lưu trữ năng lượng. Không quá khi khẳng định rằng, quốc gia nào làm chủ được nguồn cung ứng và công nghệ xử lý đất hiếm, quốc gia đó sẽ nắm giữ lợi thế chiến lược cốt lõi trong thế kỷ 21.

Tuy nhiên, tiềm năng to lớn này luôn đi kèm với những thách thức địa chính trị phức tạp. Đặc tính phân bố không đồng đều trên toàn cầu và sự tập trung của chuỗi cung ứng chế biến sâu đã biến đất hiếm thành một nguồn tài nguyên mang tính cạnh tranh chiến lược cao. Đối với Việt Nam, một quốc gia được đánh giá là sở hữu trữ lượng khoáng sản đất hiếm hàng đầu thế giới, đây vừa là một lợi thế, vừa là một bài toán quy hoạch đầy cam go. Việc chúng ta đang đứng ở đâu trên bản đồ đất hiếm toàn cầu, và làm thế nào để biến tiềm

năng dưới lòng đất thành chuỗi giá trị thực thụ thúc đẩy quốc gia phát triển, là một đòi hỏi cấp bách của thời đại.

Để giải quyết bài toán trên, việc tiếp cận đất hiếm không thể chỉ dừng lại ở góc độ khai thác tài nguyên thô, mà đòi hỏi một tầm nhìn hệ thống: từ việc thấu hiểu bản chất hóa lý của vật liệu, đánh giá chuẩn xác sự phân bố trữ lượng, cho đến việc hoạch định chiến lược phát triển quốc gia, làm chủ công nghệ tinh chế và ứng dụng. Báo cáo khoa học này được thực hiện nhằm cung cấp một bức tranh toàn diện và sâu sắc về nguồn tài nguyên chiến lược đất hiếm. Thông qua việc phân tích từ cấu trúc cơ bản đến các ứng dụng công nghệ cao, báo cáo sẽ làm rõ vị thế của Việt Nam, đánh giá thực trạng nghiên cứu trong nước, và chỉ ra những điểm nghẽn về chính sách cũng như nguồn lực đầu tư hiện tại. Từ đó, báo cáo hướng tới việc đề xuất một chiến lược tiếp cận phù hợp, gắn liền với mục tiêu quốc gia, định hướng đổi mới giáo dục, và đặc biệt nhấn mạnh vai trò tiên phong của các cơ sở nghiên cứu đầu ngành về khoa học trái đất như Trường Đại học Mỏ - Địa chất trong việc làm chủ chuỗi giá trị đầu vào và thúc đẩy các công bố quốc tế, góp phần nâng cao năng lực tự chủ công nghệ của đất nước.

1. “Đất hiếm” là gì? Bản chất hóa lý và vai trò chiến lược

Việc hoạch định chiến lược khai thác, chế biến và ứng dụng đòi hỏi sự phân tích thấu đáo về bản chất hóa lý, cũng như giải trình nguyên nhân dẫn đến đặc tính phân bố địa hóa học đặc thù của nhóm vật liệu này.

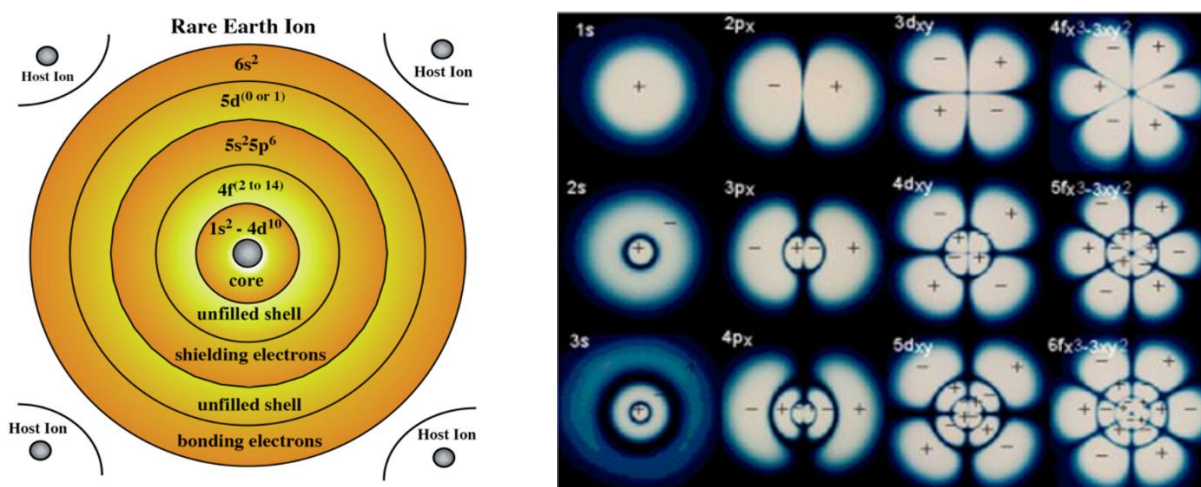
1.1. Định danh và đặc tính vật lý, hóa học

Theo hệ thống danh pháp của Hiệp hội Hóa học Cơ bản và Ứng dụng Quốc tế (IUPAC), đất hiếm gồm 17 nguyên tố. Nhóm này bao gồm 15 nguyên tố thuộc dải Lanthan (từ Lanthanum - La đến Lutetium - Lu) và 2 nguyên tố có tính chất tương đồng là Scandium (Sc) và Yttrium (Y) [1].

57 La lanthanum 138.905 4f ⁰ 5d ¹ 6s ²	58 Ce Cerium 140.116 4f ² 5d ⁰ 6s ²	59 Pr Praseodymium 140.908 4f ³ 5d ⁰ 6s ²	60 Nd Neodymium 144.243 4f ⁴ 5d ⁰ 6s ²	61 Pm Promethium 144.913 4f ⁵ 5d ⁰ 6s ²	62 Sm Samarium 150.360 4f ⁶ 5d ⁰ 6s ²	63 Eu Europium 151.964 4f ⁷ 5d ⁰ 6s ²	64 Gd Gadolinium 157.250 4f ⁷ 5d ¹ 6s ²
65 Tb Terbium 158.925 4f ⁹ 5d ⁰ 6s ²	66 Dy Dysprosium 162.500 4f ¹⁰ 5d ⁰ 6s ²	67 Ho Holmium 164.930 4f ¹¹ 5d ⁰ 6s ²	68 Er Erbium 167.259 4f ¹² 5d ⁰ 6s ²	69 Tm Thulium 168.934 4f ¹³ 5d ⁰ 6s ²	70 Yb Ytterbium 173.055 4f ¹⁴ 5d ⁰ 6s ²	71 Lu Lutetium 174.967 4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²	

Bảng 1. Các nguyên tố đất hiếm

Về mặt vật lý và hóa học, tính chất độc đáo của nhóm vật liệu này xuất phát từ cấu trúc lượng tử và cấu hình electron đặc biệt. Ở các nguyên tố họ Lanthan, các electron được điền dần vào phân lớp 4f nằm sâu bên trong vỏ nguyên tử. Do nằm sâu bên trong, lớp electron 4f này được "che chắn" rất kỹ bởi các lớp electron bên ngoài (5s và 5p). Nhờ sự che chắn này, các electron 4f ít bị ảnh hưởng bởi môi trường điện trường xung quanh, giúp các ion đất hiếm duy trì được các mức năng lượng cực kỳ ổn định. Điển hình, các chuyển dời điện tử nội lớp của Europium (Eu) hay Erbium (Er) tạo ra các đặc tính phát quang sắc nét, lý tưởng cho các thiết bị quang - điện.



Hình 1. Bảng cấu hình điện tử và mô hình orbital tương ứng

Một đặc trưng vật lý cốt lõi khác là hiệu ứng "co Lanthan". Khi số hiệu nguyên tử tăng lên, lực hút của hạt nhân mạnh dần làm cho bán kính ion co lại một cách đều đặn. Điều này

không chỉ khiến các nguyên tố có kích thước tương đồng (dẫn đến việc luôn tồn tại chung trong quặng tự nhiên), mà kích thước ion đặc thù này còn rất lý tưởng để pha tạp vào cấu trúc mạng tinh thể của các vật liệu nền, chẳng hạn như các oxit bán dẫn.

1.2. Tầm quan trọng ứng dụng và động lực công nghệ

Vai trò của đất hiếm trong thời đại ngày nay mang tính chất quyết định đối với chuỗi cung ứng toàn cầu. Mặc dù thường được sử dụng dưới dạng vi lượng, chúng chi phối hoàn toàn đặc tính quang học, điện từ và xúc tác của các vật liệu tiên tiến:

• Năng lượng tái tạo và điện khí hóa:

Đất hiếm là nguồn cung cho pin xe điện phục vụ chuyển đổi xanh. Đặc biệt, Neodymium (Nd), Praseodymium (Pr) và Dysprosium (Dy) là nền tảng chế tạo nam châm vĩnh cửu siêu cường ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$). Cấu trúc này tối ưu hóa mật độ từ thông, là thành phần bắt buộc trong động cơ phương tiện giao thông điện (EV) và máy phát điện tuabin gió [2].

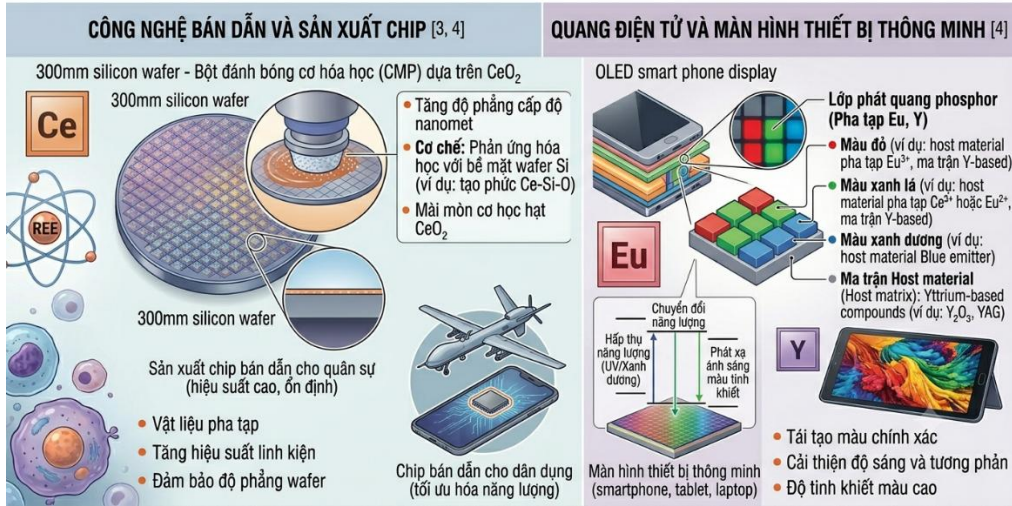


Hình 2. Cấu tạo nam châm tua bin gió và trạm tua bin gió

• Công nghệ bán dẫn và quang điện tử:

Đất hiếm là vật liệu cốt lõi để sản xuất chip bán dẫn cho quân sự, dân dụng. Cerium (Ce) được ứng dụng trong bột đánh bóng cơ hóa học (CMP), đảm bảo độ phẳng ở cấp độ nanomet đối với đĩa wafer silicon [3, 4]. Europium (Eu) và Yttrium (Y) là chất phát quang (phosphor) nền tảng trong công nghệ màn hình thiết bị thông minh [4].

HỢP CHẤT CỦA CERIUM (Ce), EUROPIUM (Eu) & YTTRIUM (Y) TRONG CÔNG NGHỆ BÁN DẪN & QUANG ĐIỆN TỬ



Hình 3. Một số ứng dụng trong lĩnh vực bán dẫn và quang điện tử

• Công nghiệp quốc phòng và hàng không vũ trụ:

Hợp kim Samarium-Cobalt ($SmCo_5$) thể hiện hệ số kháng từ dư cực cao ở môi trường khắc nghiệt, được ứng dụng trong động cơ phản lực, radar và hệ thống dẫn đường [5]. Erbium (Er) là vật liệu lõi trong công nghệ đo xa laser quân sự [5].

ỨNG DỤNG CỦA SAMARIUM-COBALT ($SmCo_5$) & ERBIUM (Er) TRONG QUỐC PHÒNG & HÀNG KHÔNG VŨ TRỤ

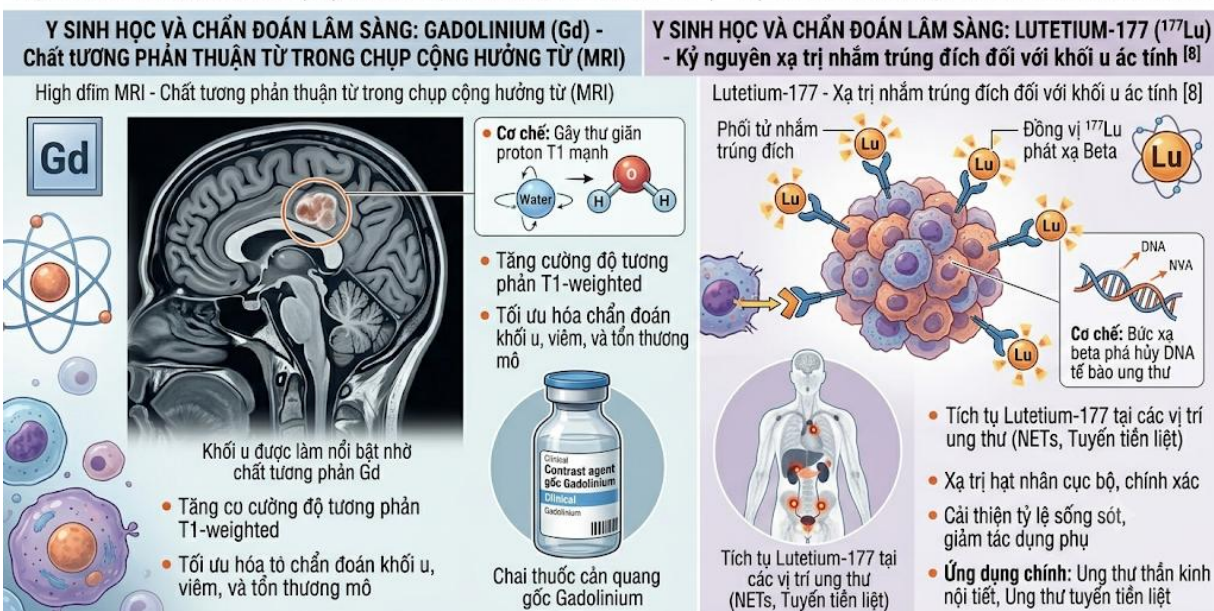


Hình 4. Ứng dụng của đất hiếm trong quốc phòng và hàng không

• Y sinh học và chẩn đoán lâm sàng:

Gadolinium (Gd) hoạt động như một chất tương phản thuận từ, bắt buộc phải có trong kỹ thuật chụp cộng hưởng từ (MRI) [7]. Đồng thời, đồng vị phóng xạ Lutetium-177 (^{177}Lu) đang mở ra kỷ nguyên xạ trị nhắm trúng đích đối với khối u ác tính [8].

HỢP CHẤT CỦA GADOLINIUM (Gd) & ĐỒNG VỊ PHÓNG XẠ LUTETIUM-177 (^{177}Lu) TRONG Y SINH HỌC & CHẨN ĐOÁN LÂM SÀNG



Hình 5. Ứng dụng đất hiếm trong y học

• Công nghệ xúc tác hóa dầu:

Lanthanum (La) và Cerium (Ce) điều biến hoạt tính trong quá trình cracking xúc tác chất lỏng (FCC) để tăng hiệu suất thu hồi xăng dầu, đồng thời đóng vai trò trung tâm trong bộ chuyển đổi xúc tác xử lý khí thải độc hại (CO , NO_x) trên ô tô [9].

• Hợp kim tiên tiến và viễn thông:

Pha tạp Scandium (Sc) vào mạng tinh thể nhôm tạo ra hợp kim siêu nhẹ có độ bền vượt trội cho hàng không [11]. Ion Erbium (Er^{3+}) cấy vào lõi sợi silica tạo ra bộ khuếch đại quang học (EDFA), duy trì hệ thống dữ liệu viễn thông xuyên lục địa [10].

1.3. Đặc tính địa hóa học và nghịch lý về sự khan hiếm

Phân tích sinh khoáng học dựa trên dữ liệu của Cơ quan Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS) chỉ ra một nghịch lý: trữ lượng tương đối trong lớp vỏ Trái Đất, nhóm nguyên tố này không hề khan hiếm [6]. Điển hình, Cerium có tần suất xuất hiện cao hơn đồng hoặc chì, trong khi Lutetium phổ biến hơn vàng [6]. Thực chất, do sự phân bố không tập trung nên khan hiếm. Bản chất của sự khan hiếm xuất phát từ sự phân tán dị hướng mang tính địa hóa học. Thay vì tập trung thành các thân quặng độc lập, các ion đất hiếm có xu hướng thay thế đồng hình (isomorphic substitution) rải rác trong mạng tinh thể của hàng trăm

khoáng vật khác. Quá trình kiến tạo địa chất rất hiếm khi hội tụ đủ điều kiện sinh khoáng để làm giàu trầm tích thành các tụ khoáng đạt hàm lượng công nghiệp (có giá trị khai thác kinh tế) [6]. Rào cản về tụ khoáng tập trung, kết hợp với chi phí môi trường khổng lồ trong công nghệ tinh chế, đã chuyển hóa đất hiếm thành công cụ cạnh tranh địa chính trị hàng đầu – một cơ sở quan trọng để tiếp tục phân tích sự phân bố của tài nguyên này trên bản đồ thế giới và tại Việt Nam ở phần tiếp theo.

2. Sự phân bố của đất hiếm trên thế giới và ở Việt Nam

Đánh giá định lượng tài nguyên và phân tích cấu trúc không gian sinh khoáng (spatial metallogenic distribution) của đất hiếm là tiền đề pháp lý và khoa học để hoạch định chiến lược an ninh khoáng sản. Đặc tính phân tán địa hóa học của nhóm kim loại này đã tạo ra một bức tranh cung ứng bất đối xứng nghiêm trọng trên quy mô toàn cầu.

2.1. Cấu trúc không gian sinh khoáng đất hiếm trên toàn cầu

Tài nguyên nguyên khai tồn tại ở đa số các thạch quyển, tuy nhiên các tụ khoáng đạt chỉ tiêu công nghiệp (industrial-grade deposits) có khả năng khai thác thương mại lại khu trú tại một số giới hạn đới sinh khoáng nhất định. Theo Báo cáo Tóm tắt Hàng hóa Khoáng sản năm 2024 của Cơ quan Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS) [12], tổng trữ lượng (reserves) toàn cầu đạt khoảng 110 triệu tấn oxit đất hiếm (REO). Sự phân bố địa lý khoáng sản được định hình bởi các vùng trọng điểm:

Trung Quốc: Khẳng định thế độc quyền địa chính trị với trữ lượng 44 triệu tấn REO [12]. Các mỏ như Bayan Obo là điển hình cho loại hình quặng gốc nhiệt dịch quy mô siêu lớn. Quốc gia này hiện đang kiểm soát gần như toàn bộ chuỗi cung ứng luyện kim và chiết tách tinh khiết.

Brazil và Nga: Lưu giữ tiềm năng lớn với trữ lượng lần lượt là 21 triệu tấn và 10 triệu tấn [12], chủ yếu thuộc kiểu nguồn gốc magma carbonatite và vỏ phong hóa.

Các quốc gia khác: Australia (5,7 triệu tấn), Ấn Độ (6,9 triệu tấn) và Hoa Kỳ (1,8 triệu tấn) [12] đang ráo riết khôi phục hoạt động điều tra cơ bản địa chất về khoáng sản để tự chủ nguồn cung.

2.2. Tiềm năng tài nguyên và đặc điểm sinh khoáng tại Việt Nam

Dữ liệu về việc Việt Nam chiếm bao nhiêu đất hiếm theo điều tra của các tổ chức thế giới đã được định lượng rõ ràng thông qua các văn kiện khảo sát uy tín. Cụ thể, khối lượng tài nguyên và trữ lượng của Việt Nam được xác nhận ở mức 22 triệu tấn REO, xác lập vị thế quốc gia có tiềm năng sinh khoáng đất hiếm lớn thứ hai toàn cầu [12]. Đất hiếm gồm hai nhóm, nhóm đất hiếm nhẹ gồm các nguyên tố có nguyên tử khối nhỏ hơn 65 như Lathan (La), Xeri (Ce), Praseođim (Pr), và Neođim (Nd),... nhóm còn lại thuộc nhóm nguyên tố đất hiếm nặng. Các nguyên tố đất hiếm nhẹ chiếm 80% ở Việt Nam, giá trị kinh tế không bằng với nhóm nặng.

Xét về quy luật phân bố không gian sinh khoáng, các tụ khoáng tại Việt Nam phân bố rõ rệt thành hai loại hình thạch học chủ đạo, cung cấp tiền đề vật chất quan trọng cho việc tổng hợp vật liệu quang - điện - hóa:

Đới quặng Tây Bắc (Lai Châu, Lào Cai, Yên Bái):

Là trung tâm tập trung các thân quặng gốc nội sinh (endogenous ores) thuộc phân nhóm đất hiếm nhẹ (LREE). Các mỏ quy mô lớn như Đông Pao, Nậm Xe, Yên Phú có thành phần khoáng vật chủ đạo là bastnaesite và fluorocarbonate. Đặc trưng địa hóa học tại đới này cho thấy sự làm giàu đáng kể các nguyên tố Cerium (Ce) và Neodymium (Nd), cung cấp nguyên liệu thô lý tưởng cho chế tạo xúc tác và nam châm vĩnh cửu.



Hình 6. Hình ảnh minh họa mỏ đất hiếm Đông Pao.

Đới quặng ven biển miền Trung và Tây Nguyên:

Đặc trưng bởi các vỏ phong hóa chứa quặng hấp phụ ion và các khoáng sàng sa khoáng bờ biển chứa monazite, xenotime. Mặc dù hàm lượng tổng (total grade) không cô

đặc như quặng gốc, kiểu nguồn gốc sinh khoáng này lại tích tụ tỷ lệ cao các nguyên tố đất hiếm nặng (HREE) chiến lược như Europium (Eu) và Erbium (Er). Đây là các vật liệu tiên đề mang tính sống còn đối với công nghệ quang điện tử và chip bán dẫn.

2.3. Đất hiếm trong chiến lược phát triển của quốc gia

Với khối tài nguyên 22 triệu tấn, việc khai thác và bảo vệ khoáng sản chiến lược này không chỉ là bài toán kinh tế mà là một trụ cột an ninh quốc gia. Nguồn vật liệu này là trọng tâm đảm bảo nguồn cung cho pin xe điện phục vụ chuyển đổi xanh, đồng thời đóng vai trò vật liệu nền trong sản xuất chip bán dẫn cho quân sự, dân dụng.

Tuy nhiên, dưới góc độ quản lý nhà nước về tài nguyên, việc khai thác phải tuân thủ nghiêm ngặt nguyên tắc chế biến sâu, tối đa hóa giá trị gia tăng. Định hướng này đã được quy phạm hóa tại **Quyết định số 866/QĐ-TTg** của Thủ tướng Chính phủ về Quy hoạch thăm dò, khai thác, chế biến và sử dụng các loại khoáng sản [13]. Văn bản chuẩn quy phạm này thiết lập hành lang pháp lý cấm tuyệt đối việc xuất khẩu quặng thô. Các tổ chức kinh tế tham gia hoạt động khoáng sản phải tích hợp dây chuyền tuyển luyện, chiết dung môi và xử lý triệt để tác động môi trường phóng xạ [13].

Để hiện thực hóa quy hoạch quốc gia, công tác đào tạo và nghiên cứu học thuật đóng vai trò cốt lõi. Đối với trường Đại học Mỏ địa chất được giao nguồn đầu vào của chuỗi giá trị đất hiếm. Việc tiếp cận chiến lược này bắt buộc phải bắt đầu bằng các nghiên cứu cơ bản cho phù hợp với đào tạo đại học bằng các công bố quốc tế nhằm nâng cao năng lực nghiên cứu xếp hạng của trường. Sứ mệnh này đòi hỏi sự thâm nhập sâu vào cấu trúc vật liệu học – từ quy trình tuyển tinh quặng đến nghiên cứu tổng hợp vật liệu quang - điện - hóa tiên tiến, góp phần xác lập năng lực tự chủ công nghệ quốc gia trong kỷ nguyên xanh.

3. Đất hiếm trong chiến lược phát triển của quốc gia

Sở hữu tiềm năng sinh khoáng với quy mô trữ lượng hàng đầu thế giới, Việt Nam đang đứng trước cơ hội lịch sử để tái định vị vai trò của mình trên bản đồ công nghiệp toàn cầu. Tài nguyên đất hiếm không chỉ dừng lại ở giá trị thương mại đơn thuần mà đã được Chính phủ nâng lên tầm khoáng sản chiến lược, đóng vai trò là động lực cốt lõi để thực hiện thành công các mục tiêu công nghiệp hóa, hiện đại hóa, được cụ thể hóa thông qua Quyết định số 334/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ [14]. Chiến lược phát triển quốc gia

đối với tài nguyên này được định hình xoay quanh hai trụ cột công nghệ mũi nhọn: năng lượng tái tạo và vi mạch bán dẫn.

3.1. Trụ cột năng lượng: Nguồn cung cho pin xe điện phục vụ chuyển đổi xanh

Cam kết đạt mức phát thải ròng bằng "0" (Net Zero) vào năm 2050 của Việt Nam tại Hội nghị COP26 đã được thể chế hóa thành hành động thông qua Chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu (Quyết định 896/QĐ-TTg) [15]. Để thực hiện mục tiêu này, tài nguyên đất hiếm trong nước được quy hoạch để trở thành nguồn cung cho pin xe điện phục vụ chuyển đổi xanh.

Tối ưu hóa chuỗi cung ứng pin và năng lượng gió:

Theo đánh giá chuyên sâu của Cơ quan Năng lượng Quốc tế (IEA) [2], các nguyên tố như Neodymium (Nd) và Praseodymium (Pr) là vật liệu không thể thay thế để sản xuất nam châm vĩnh cửu siêu cường cho động cơ EV và máy phát điện tuabin gió. Việc làm chủ nguồn nguyên liệu này giúp Việt Nam thiết lập chuỗi cung ứng khép kín, tránh đứt gãy từ các biến động địa chính trị.

Đột phá công nghệ hydro và năng lượng sinh thái:

Đi xa hơn công nghệ pin lưu trữ truyền thống, việc nghiên cứu các nguyên tố như Europium (Eu), Cerium (Ce), và Erbium (Er) đang mở ra hướng đi tiên phong trong việc chế tạo các hệ vật liệu quang - điện - hóa. Sự hiện diện của các ion đất hiếm giúp điều biến cấu trúc vùng năng lượng, tạo ra các vật liệu xúc tác quang hóa xuất sắc. Đây là nền tảng sống còn cho công nghệ tách nước (water splitting) tạo hydrogen xanh và chuyển hóa CO₂, kiến tạo một giải pháp năng lượng sạch và tuần hoàn từ gốc rễ.

3.2. Trụ cột công nghệ cao:

Bên cạnh bài toán năng lượng, cuộc đua định hình quyền lực công nghệ toàn cầu hiện nay đang tập trung vào hệ sinh thái vi mạch bán dẫn. Đất hiếm được xác định là nền tảng vật liệu chiến lược để Việt Nam tham gia sâu hơn vào chuỗi giá trị chế tạo chip bán dẫn cho quân sự, dân dụng.

• Đối với lĩnh vực dân dụng:

Sự phát triển của trí tuệ nhân tạo (AI) và mạng viễn thông 5G/6G đòi hỏi các thế hệ chip ngày càng mạnh mẽ. Các hợp chất tinh khiết của Cerium (Ce) là vật liệu bắt buộc

trong khâu đánh bóng cơ hóa học (CMP) cấp độ nanomet đối với đĩa wafer silicon [3, 4]. Việc tận dụng lợi thế tài nguyên tại chỗ là bước đi chiến lược để Việt Nam thu hút các tập đoàn công nghệ toàn cầu thiết lập các nhà máy chế tạo (Fab) trong nước.

- **Đối với an ninh quốc phòng:**

Tính tự chủ về vật liệu đất hiếm mang ý nghĩa sinh tử đối với an ninh quốc gia. Nhóm nguyên tố đất hiếm nặng (HREE) là thành phần cấu tạo bắt buộc của radar mảng pha, hệ thống tác chiến điện tử và hệ thống dẫn đường của vũ khí chính xác cao [5]. Việc làm chủ công nghệ sản xuất chip bán dẫn cho quân sự, dân dụng giúp Việt Nam bảo đảm khả năng phòng thủ từ xa, duy trì thế độc lập tự chủ về quốc phòng.

3.3. Tầm nhìn và định vị chuỗi giá trị

Tự trung lại, định vị đất hiếm trong chiến lược phát triển của quốc gia tuyệt đối không hướng tới việc khai thác ồ ạt để xuất khẩu quặng thô. Tầm nhìn chiến lược của Việt Nam là sử dụng khối lượng tài nguyên khổng lồ này như một "đòn bẩy" kiến tạo công nghiệp. Bằng cách thực thi nghiêm ngặt Quyết định số 866/QĐ-TTg [13] về việc cấm xuất khẩu nguyên khai và bắt buộc đầu tư công nghệ chế biến sâu, Việt Nam hướng tới mục tiêu làm chủ toàn diện chuỗi giá trị: từ thấu hiểu bản chất thạch học, phân tách chiết xuất, đến tổng hợp vật liệu tiên tiến mang thương hiệu quốc gia.

4. Tình hình nghiên cứu tại Việt Nam

Hiện nay tại Việt Nam dù sở hữu một trữ lượng đất hiếm khá lớn song sự phát triển một ngành công nghiệp đất hiếm hoàn chỉnh vẫn còn nhiều khó khăn và thách thức.

***Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (VAST)**

Viện Vật lý, Viện Khoa học Vật liệu, Viện Công nghệ Xạ hiếm.

Các hướng nghiên cứu: phân chia và làm sạch nguyên tố đất hiếm, nam châm NdFeB, phân bón vi lượng chứa đất hiếm, hệ tách oxit đất hiếm 64 bậc, chấm lượng tử bán dẫn pha tạp ion đất hiếm cho y sinh và chiếu sáng rắn.

***Trường Đại học Mỏ - Địa chất (HUMG)**

Nghiên cứu về công nghệ tuyển khoáng đất hiếm, đào tạo nhân lực chất lượng cao, kết nối doanh nghiệp – viện – trường.

***Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam**

Tham gia khảo sát, đánh giá trữ lượng, định hướng khai thác và chế biến.

5. Từ quặng thô đến sản phẩm công nghệ hoàn chỉnh

Theo Quyết định ban hành số 866/QĐ-TTg (18/07/2023), tiến đến 20230 mục tiêu phát triển chế biến đất hiếm sâu đến tổng các ôxit, hydroxit, muối đất hiếm có hàm lượng TREO từ 95% trở lên, khuyến khích sản xuất tới nguyên tố đất hiếm riêng rẽ (REO). Để đạt được mục tiêu này, một quy trình sản xuất trải qua rất nhiều công đoạn phức tạp về mặt công nghệ.



Hình 7. Mô hình sản xuất oxit đất hiếm Eu_2O_3

6. Những thách thức và khó khăn cho phát triển ngành công nghiệp đất hiếm tại Việt Nam

* Công nghệ khai thác và chế biến

- Việt Nam chưa làm chủ công nghệ lõi để khai thác và chế biến sâu đất hiếm, mới dừng ở mức khai thác thô.
- Các công nghệ tuyển quặng hiện nay chủ yếu ở quy mô phòng thí nghiệm hoặc bán công nghiệp, hiệu suất thu hồi còn thấp do quặng phức tạp và hàm lượng REO thấp.
- Thiếu thiết bị hiện đại và đồng bộ, dẫn đến khó cạnh tranh với các quốc gia đã phát triển công nghệ (đặc biệt là Trung Quốc).

* Vấn đề môi trường và an toàn

- Nguy cơ **phóng xạ tự nhiên** phát tán trong quá trình khai thác đất hiếm, đòi hỏi hệ thống quan trắc và xử lý chuyên sâu.
- Nguy cơ phơi nhiễm phóng xạ ảnh hưởng đến con người (liều lượng cho phép không vượt quá $N \leq 1 \text{ mSv/năm}$).
- Công nghệ khai thác chưa thân thiện với môi trường, trong khi các phương pháp mới (như khai thác bằng dòng điện – EKM, khai thác hấp phụ ion) vẫn đang trong giai đoạn thử nghiệm.

* Nhân lực và đào tạo

- Việt Nam **chưa có chương trình đào tạo chuyên sâu** về chế biến đất hiếm và khoáng sản chiến lược.
- Đội ngũ giảng viên còn mỏng, cơ sở vật chất đào tạo chưa đáp ứng yêu cầu.
- Thiếu hụt nghiêm trọng nguồn nhân lực chất lượng cao, đặc biệt trong các lĩnh vực an toàn phóng xạ, công nghệ chế biến sâu.

* Chính sách và liên kết

- Mô hình khai thác còn nhỏ lẻ, thiếu chiến lược tổng thể.
- Liên kết giữa Viện – Trường – Doanh nghiệp còn hạn chế, chưa hình thành hệ sinh thái nghiên cứu – đào tạo – sản xuất đồng bộ.

* Cạnh tranh quốc tế

- Việt Nam gặp khó khăn trong việc thương mại hóa nghiên cứu do **giá thành cạnh tranh khốc liệt từ Trung Quốc**.
- Thiếu đầu tư và bảo trợ chính sách, khiến các kết quả nghiên cứu từ năm 2012 đến nay chưa được đưa vào ứng dụng thực tế.

7. Một số giải pháp cho phát triển ngành công nghiệp đất hiếm tại Việt Nam

Quản lý tài nguyên đất hiếm khai thác, chế biến sâu, đến ứng dụng cho sản phẩm công nghệ cao và sử dụng tuần hoàn hợp lý

Đào tạo gắn liền với nghiên cứu, ứng dụng chuyển giao công nghệ: viện - trường – doanh nghiệp

Đối với trường Đại học Mở địa chất là đơn vị đứng đầu trong chuỗi giá trị khai thác đất hiếm. Theo 6 định hướng nghiên cứu của trường Đại học Mở - Địa chất và hướng tới trở thành Đại học đa ngành và định hướng nghiên cứu tới năm 2030 thì cần thúc đẩy các hoạt động nghiên cứu về đất hiếm để tham sâu vào chuỗi giá trị kinh tế này đáp ứng được tất cả các mục yêu cầu đề ra.

8. Kết luận và kiến nghị

Kết luận:

Với trữ lượng 22 triệu tấn đất hiếm, Việt nam có tiềm năng lớn để phát triển một ngành công nghiệp đất hiếm hoàn chỉnh. Bên cạnh đó cần phải có chiến lược và chính sách thông thoáng mới phát huy hết được nguồn vật liệu đất hiếm này.

Kiến nghị

Tăng cường kinh phí cho các nhiệm vụ nghiên cứu khoa học nhất là đề tài KHCB.

Thúc đẩy các hoạt động nghiên cứu về vật liệu khoáng sản nói chung và đất hiếm nói riêng.

Nguồn tài liệu tham khảo

- [1] IUPAC (Hiệp hội Hóa học Cơ bản và Ứng dụng Quốc tế). https://iupac.org/wp-content/uploads/2016/07/Red_Book_2005.pdf
- [2] IEA (Cơ quan Năng lượng Quốc tế), Rare Earth Elements – Analysis & Global Critical Minerals Outlook. <https://www.iea.org/reports/rare-earth-elements-2025>
- [3] SFA (Oxford), Critical Minerals in Semiconductors. <https://www.sfa-oxford.com/knowledge-and-insights/critical-minerals-in-low-carbon-and-future-technologies/critical-minerals-in-electronics/critical-minerals-in-semiconductors/>
- [4] Government of Canada (Bộ Môi trường Canada), Federal environmental quality guidelines. <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/evaluating-existing-substances/federal-environmental-quality-guidelines-rare-earth-elements.html>
- [5] SFA (Oxford), Critical Minerals in Defence and National Security. Tham chiếu từ báo cáo thường niên hệ thống SFA.

- [6] USGS (Cơ quan Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ), Rare Earths Statistics and Information - Crustal Abundance. <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/rare-earths-statistics-and-information>
- [7] National Institutes of Health (NIH) / PubChem, Ứng dụng lâm sàng của Gadolinium trong máy chụp cộng hưởng từ MRI. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/element/Gadolinium>
- [8] National Cancer Institute (NCI - Viện Ung thư Quốc gia Hoa Kỳ), Ứng dụng đồng vị Lutetium-177 trong xạ trị đích trị ung thư. <https://www.cancer.gov/news-events/cancer-currents-blog/2021/prostate-cancer-psma-radiopharmaceutical-vision>
- [9] American Chemical Society (ACS), Rare Earths in Catalysis. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/cr400010m>
- [10] The Optical Society (Optica), Erbium-Doped Fiber Amplifiers. <https://opg.optica.org/viewmedia.cfm?r=1&uri=ao-29-27-3930&seq=0>
- [11] Elsevier - Journal of Alloys and Compounds, Hợp kim siêu nhẹ pha tạp đất hiếm cho hàng không. [Elsevier - Tạp chí Hợp kim và Hợp chất](#)
- [12] Cơ quan Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS), *Mineral Commodity Summaries 2024 - Rare Earths*. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024-rare-earths.pdf>
- [13]. Quyết định số 866/QĐ-TTg ngày 18/07/2023 - Phê duyệt Quy hoạch thăm dò, khai thác, chế biến và sử dụng các loại khoáng sản thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050. <https://vanban.chinhphu.vn/?pageid=27160&docid=208313>
- [14] Quyết định số 334/QĐ-TTg ngày 01/04/2023 - Phê duyệt Chiến lược địa chất, khoáng sản và công nghiệp khai khoáng đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045. <https://vanban.chinhphu.vn/?pageid=27160&docid=207734>
- [15] Quyết định số 896/QĐ-TTg ngày 26/07/2022 - Phê duyệt Chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu giai đoạn đến năm 2050. <https://vanban.chinhphu.vn/?pageid=27160&docid=206195>