



Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <http://jmes.humg.edu.vn>



Some mineral - chemical composition results of titanium ore from the red sand layer in Binh Thuan area



Gam Hong Thi Nguyen ^{1,*}, Bac Hoang Bui ², Dung Kim Thi Nhu ²

¹ National institute of Mining - Metallurgy Science and Technology, Hanoi, Vietnam

² Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 25th Feb. 2021

Revised 26th May 2021

Accepted 19th June 2021

Keywords:

Binh Thuan,
Ilmenite,
Pyrophanite,
Titan.

ABSTRACT

Binh Thuan is an area with great potential for titanium ore in the red sand layer. In previous studies, a suitable scheme of mineral processing and types of equipment had been designed for improving the quality of titanium ore concentrate. However, the existence of manganese in Binh Thuan ilmenite has not been clarified, and therefore, an effective method of separating Mn from ilmenite has not yet been proposed. In this study, X-ray diffraction analysis (XRD), and scanning electron microscopy (SEM-EDS), and Raman spectroscopy method are used to determine the mineral-chemical composition of Binh Thuan ilmenite. The analytical results show that in the study area of ilmenite ore, there was a certain proportion of Mn in the Binh Thuan ilmenite ore with an average of about 3.0%. Manganese is found to exist as a partial isomorphous replacement between Mn²⁺ and Fe²⁺ ions in ilmenite mineral crystals, creating an intermediate mineral ilmenite-pyrophanite with the formula (Fe_xMn_{1-x})TiO₃. The obtained research results contribute to the orientation in the separation process, in removing Mn effectively from Ti concentration ore.

Copyright © 2021 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: gamcic@vimluki.vn

DOI: 10.46326/JMES.2021.62(3b).11



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



Một số kết quả nghiên cứu về đặc điểm thành phần vật chất quặng titan trong tầng cát đỏ khu vực B nh Thuận

Nguyễn Thị Hồng Gấm^{1,*}, Bui Hoang Bắc², Nhữ Thị Kim Dung²

¹ Viện Khoa học và Công nghệ Mỏ - Luyện kim, Hà Nội, Việt Nam

² Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 25/2/2021

Sửa xong 26/5/2021

Chấp nhận đăng 19/6/2021

Từ khóa:

Bình Thuận,
Ilmenit,
Pyrophanit,
Titan.

TÓM TẮT

Bình Thuận là khu vực có tiềm năng lớn về quặng titan nằm trong tầng cát đỏ. Trong các nghiên cứu trước đây, quy trình công nghệ và thiết bị phù hợp để tuyển có hiệu quả nguồn tài nguyên khoáng sản này đã được xác lập. Tuy nhiên, trong các nghiên cứu này, vấn đề về dạng tồn tại của mangan trong tinh quặng ilmenit còn chưa được làm sáng tỏ và do vậy cũng chưa định hướng phương pháp xử lý tách mangan ra khỏi tinh quặng ilmenit một cách hiệu quả. Để góp phần làm sáng tỏ dạng tồn tại của mangan trong tinh quặng ilmenit, trong nghiên cứu này đã tiến hành sử dụng tổ hợp các phương pháp phân tích trọng sa, phân tích nhiễu xạ tia X (XRD), kính hiển vi điện tử quét (SEM-EDS), và phương pháp quang phổ Raman nhằm xác định thành phần khoáng vật, thành phần hóa học của tinh quặng ilmenit, cũng như xác định các nguyên tử trong tinh thể ilmenit. Kết quả phân tích đã chỉ ra rằng trong tinh quặng ilmenit khu vực nghiên cứu có chứa Mn với tỉ lệ nhất định, trung bình khoảng 3,0%. Mangan được nhận định tồn tại dưới dạng thay thế đồng hình một phần nhỏ giữa ion Mn^{2+} và Fe^{2+} trong tinh thể khoáng vật ilmenit, tạo nên khoáng vật trung gian ilmenit-pyrophanit với công thức $(Fex,Mn1-x)TiO_3$. Kết quả nghiên cứu đạt được góp phần cho việc định hướng trong quá trình tuyển luyện, nhằm loại bỏ Mn đạt hiệu quả cao.

© 2021 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Đặt vấn đề

Việt Nam là quốc gia có tiềm năng lớn về tài nguyên quặng sa khoáng titan - zircon ven biển, phân bố chủ yếu dọc các bờ biển miền trung (Lương Quang Khang và Khương Thế Hùng, 2016;

Bùi Tất Hợp, 2010; Nguyen Tien Dung và nnk, 2017). Theo Quyết định phê duyệt Quy hoạch và phân vùng thăm dò, khai thác quặng titan giai đoạn đến năm 2020, có xét tới năm 2030 của Thủ tướng Chính phủ năm 2013 thì tổng trữ lượng và tài nguyên dự báo quặng titan của cả nước khoảng 650 triệu tấn khoáng vật nặng (trong đó khoảng 78 triệu tấn zircon) (Quyết định số 1546/QĐ-TTg, 2013). Trong đó, trữ lượng và tài nguyên dự báo khu vực Bình Thuận khoảng 599 triệu tấn, chiếm 92% tổng trữ lượng và tài nguyên quặng titan Việt

*Tác giả liên hệ

E - mail: gamcic@vimluki.vn

DOI: 10.46326/JMES.2021.62(3b).11

Nam. Quặng titan khu vực này phân bố trong tầng cát đỏ với bề dày tầng cát đỏ chứa quặng trung bình khoảng 85m. Hàm lượng quặng titan trung bình đạt 0,7% TiO_2 . Các khu vực phân bố chủ yếu quặng titan ở Bình Thuận có khu Tuy Phong với tài nguyên dự báo là 23,9 triệu tấn, khu bắc Phan Thiết với tài nguyên dự báo 476 triệu tấn, khu nam Phan Thiết với tài nguyên dự báo 56 triệu tấn và khu Hàm Tân là 1,6 triệu tấn (Tổng cục địa chất và Khoáng sản - Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2010).

Trong nghiên cứu “Điều tra, đánh giá tiềm năng sa khoáng titan – zircon trong tầng cát đỏ vùng Ninh Thuận, Bình Thuận và Bắc Bà Rịa - Vũng Tàu” của Tổng cục Địa chất và Khoáng sản, Bộ Tài nguyên và Môi trường đã đánh giá sơ bộ về thành phần vật chất của đối tượng quặng này. (Tổng cục địa chất và Khoáng sản – Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2010). Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng, hàm lượng titan ở đây thấp hơn và tỉ lệ mùn sét nhiều hơn so với quặng sa khoáng chứa titan trong lớp cát xám và cát vàng. Ngoài ra, hàm lượng mangan trong quặng tinh chứa titan trong khu vực này khá cao, gây ảnh hưởng không nhỏ cho quá trình luyện kim. Trong các nghiên cứu trước đây, quy trình công nghệ và thiết bị phù hợp để tuyển có hiệu quả nguồn tài nguyên khoáng sản này đã được xác lập (Nguyễn Thị Hồng Gấm, 2016). Tuy nhiên, dạng tồn tại của mangan trong tinh quặng ilmenit còn chưa được làm sáng tỏ và do vậy cũng chưa định hướng phương pháp xử lý tách mangan ra khỏi tinh quặng ilmenit.

Theo Waychuna (1991), 5 khoáng vật trong nhóm loạt ilmenit bao gồm có các khoáng vật ilmenit ($FeTiO_3$), hematit (Fe_2O_3), geikielit ($MgTiO_3$), pyrophanit ($MnTiO_3$) và eandrewsit ($ZnTiO_3$). Giữa những khoáng vật này, có những dạng trung gian ở giữa, tạo ra do sự thay thế đồng hình giữa các ion có cùng mức hóa trị và năng lượng tương tự nhau như giữa ion Mg^{2+} - Mn^{2+} , Fe^{2+} - Mn^{2+} , Fe^{2+} - Mg^{2+} . Do vậy có thể thấy theo quan điểm này thì công thức lý tưởng của khoáng vật ilmenit sẽ là $FeTiO_3$ và khoáng vật pyrophanit là $MnTiO_3$. Sự thay thế đồng hình giữa ion Fe^{2+} và ion Mn^{2+} theo bất kỳ tỷ lệ nào trong cấu trúc mạng tinh thể khoáng vật ilmenit sẽ tạo thành khoáng vật trung gian và được gọi chung là ilmenit-pyrophanit, công thức hóa học tổng quát sẽ là $(Fe_x, Mn_{1-x})TiO_3$.

Trong báo cáo này, tập thể tác giả sẽ giới thiệu một số kết quả phân tích góp phần làm sáng tỏ dạng tồn tại của mangan trong tinh quặng ilmenit. Kết quả nghiên cứu đạt được sẽ là thông tin quan trọng cho việc định hướng xử lý loại bỏ mangan trong ilmenit nhằm thu được sản phẩm đạt yêu cầu của ngành công nghiệp tiếp theo.

2. MẪU VÀ PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH

2.1. Mẫu nghiên cứu

Mẫu quặng nguyên khai được lấy tại các mỏ quặng titan trong tầng cát đỏ khu vực Bình Thuận. Mẫu quặng nguyên khai được Phòng Công nghệ Tuyển khoáng thuộc Viện Khoa học và Công nghệ Mỏ - Luyện kim (VIMLUKI) trực tiếp triển khai lấy mẫu tại hai khu vực chính là khu vực xã Hòa Thắng, huyện Bắc Bình và Hàm Thuận Nam thuộc tỉnh Bình Thuận. Đồng thời mẫu được gộp với mẫu thuộc đề án thăm dò khoáng sản sa khoáng titan – zircon khu Lương Sơn I, huyện Bắc Bình, tỉnh Bình Thuận (do Công ty Cổ phần Địa chất và Khoáng sản – Vinacomin cung cấp cho VIMLUKI). Mẫu được gia công gián lược và lưu thành các mẫu phục vụ quá trình phân tích và nghiên cứu thử nghiệm (Nguyễn Thị Hồng Gấm, 2016). Mẫu nghiên cứu là sản phẩm tinh quặng ilmenite đã thu hồi trong quá trình tuyển vít thu hồi khoáng vật nặng và tuyển từ. Mẫu được hong khô trong lò sấy ở nhiệt độ $60^\circ C$. Tùy phương pháp và mục đích phân tích khác nhau, mẫu được tiến hành gia công với các quy trình khác nhau ví dụ như đúc epoxy để cắt và mài bóng, phủ carbon hay nghiền mịn bằng cối mã não.

2.2. Phương pháp phân tích

Tổ hợp các phương pháp phân tích được sử dụng nhằm góp phần làm sáng tỏ các đặc điểm thành phần hóa học của ilmenit khu vực nghiên cứu bao gồm: phân tích trọng sa và phân tích kính hiển vi điện tử quét (SEM-EDS) tại Trường Đại học Mỏ - Địa chất; phân tích nhiễu xạ tia X (XRD) tại Viện Địa chất – Viện Hàn lâm khoa học và Công nghệ Việt Nam và phương pháp quang phổ Raman tại Đại học Quốc gia Hà Nội.

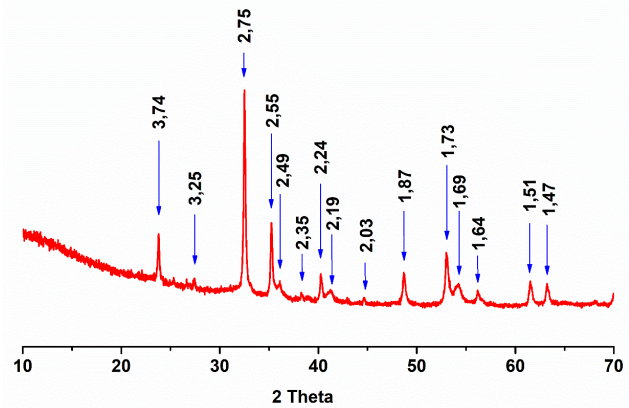
3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Phân tích trọng sa

Kết quả phân tích trọng sa cho thấy rằng, các khoáng vật ilmenit chiếm chủ yếu với khoảng 80,00% tổng các khoáng vật nặng (Nguyễn Thị Hồng Gấm, 2016). Hình ảnh chụp mẫu ilmenit dưới kính soi nổi cho thấy các khoáng vật ilmenit có dạng hạt khá tròn cạnh, độ mài tròn khá tốt, màu đen và có ánh bán kim (Hình 1).

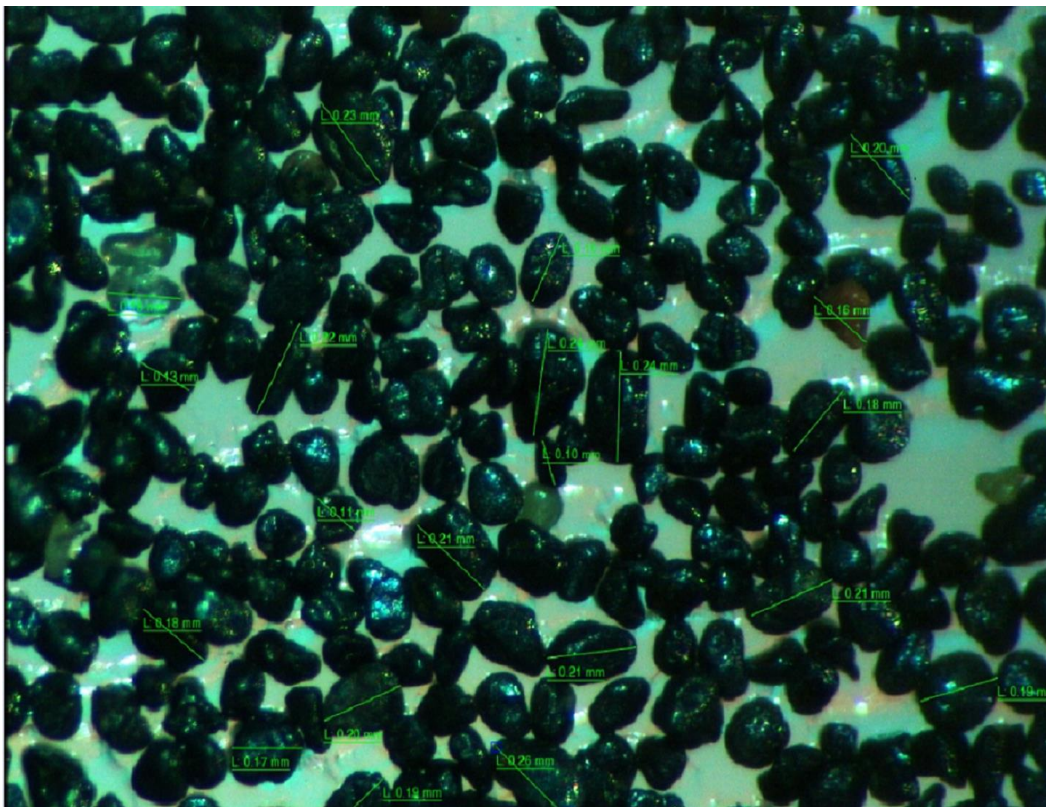
3.2. Phân tích XRD

Kết quả phân tích XRD cho mẫu quặng ilmenit được thể hiện ở Hình 2. Giản đồ cho thấy xuất hiện các đỉnh được cho là có sự tồn tại của khoáng vật pyrophanit ($MnTiO_3$) cùng với ilmenit ($FeTiO_3$). Khoáng vật ilmenit được đặc trưng bằng các đỉnh nhiễu xạ tại 2,74 Å; 1,72 Å; 2,54 Å; 1,86 Å; 1,50 Å và 1,47 Å. Trong khi đó khoáng vật pyrophanit thể hiện tại các đỉnh nhiễu xạ 2,76 Å; 2,55 Å; 1,74 Å;



Hình 2. Giản đồ XRD của mẫu ilmenit nghiên cứu.

1,88 Å; 1,52 Å và 1,48 Å. Tuy nhiên, do mạng tinh thể của khoáng vật ilmenit, pyrophanit và khoáng vật trung gian giữa chúng khá tương đồng với nhau, do vậy việc phân biệt sự tồn tại đúng của khoáng vật ilmenit, hay khoáng vật pyrophanit, hay là khoáng vật trung gian giữa chúng trong



Hình 1. Hình ảnh mẫu tinh quặng ilmenit nghiên cứu.

mẫu nghiên cứu sử dụng kết quả phân tích XRD sẽ gặp những khó khăn nhất định.

3.3. Phân tích SEM-EDS

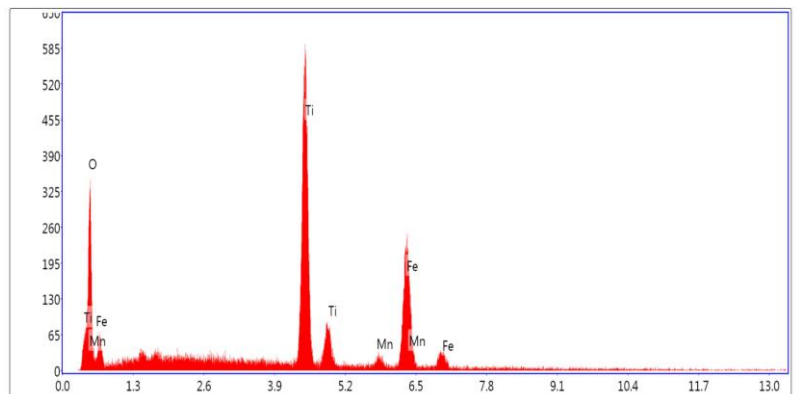
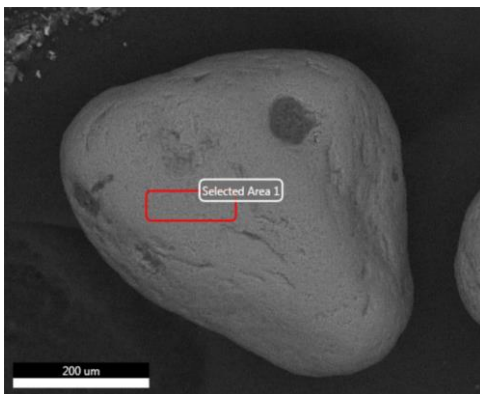
Trong nghiên cứu này, phương pháp phân tích kính hiển vi điện tử quét (SEM-EDS) được sử dụng để kiểm tra và xác định sự có mặt của nguyên tố Mn trong khoáng vật ilmenit. Kết quả cho thấy, đối với mẫu khoáng vật ilmenit gắn kết, mài láng, phân tích thành phần hóa học bằng năng lượng tán xạ tia X liên kết với SEM cho thấy đỉnh tán xạ đặc trưng cho Mn xuất hiện (Hình 3). Hình 3a thể hiện phổ tán xạ tia X trong phân tích SEM cho bề mặt của một hạt ilmenit còn hình 3b thể hiện phổ tán xạ tia X trong phân tích SEM đối với một diện tích trên bề mặt lõi của một hạt ilmenit được cắt và mài bóng. Kết quả bản EDS đều cho thấy nguyên tố Mn xuất hiện trong tất cả các điểm và diện tích bản của khoáng vật ilmenit được phân tích. Tuy nhiên, đỉnh tán xạ của nguyên tố Mn này có cường độ không lớn và khác nhau tùy thuộc vào tỷ lệ Mn tại điểm phân tích. Đỉnh tán xạ đặc trưng cho nguyên tố Ti và Fe vẫn là các nguyên tố chủ

đạo trong thành phần khoáng này. Ngoài ra, Si và Al cũng xuất hiện với hàm lượng nhỏ.

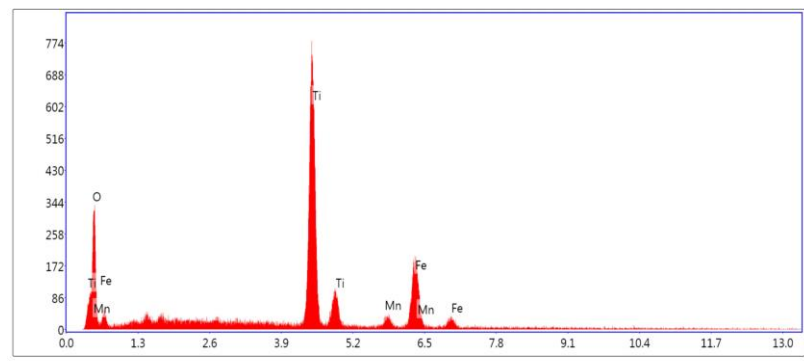
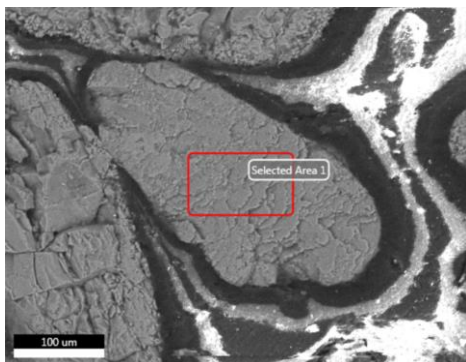
Kết quả xác định bán hàm lượng nguyên tố Mn trong ilmenit nghiên cứu tại một số điểm và vùng bản EDS được tập hợp ở Bảng 1. Kết quả cho thấy, hàm lượng Mn tại các điểm bản EDS đạt trung bình khoảng 3,0 %, còn lại là hàm lượng Ti và tổng Fe. Tất cả các điểm phân tích EDS cho thấy có mặt đồng thời nguyên tố Fe và Mn. Như vậy, bước đầu có thể đưa ra nhận định rằng, có thể xảy ra quá trình thay thế đồng hình một phần nhỏ của ion Mn^{2+} cho ion Fe^{2+} trong mạng tinh thể khoáng vật ilmenit và tạo ra khoáng vật trung gian ilmenit-pyrophanit $(Fe_x, Mn_{1-x})TiO_3$. Trong quá trình phân tích, chưa tìm thấy khoáng vật chứa Mn, pyrophanit.

3.4. Phân tích quang phổ Raman

Phân tích khoáng vật ilmenit ($FeTiO_3$) và pyrophanit ($MnTiO_3$) bằng phương pháp quang phổ Raman đã được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu cấu trúc mạng tinh thể (Wu X., Qin S., Dubrovinsky L., 2010; Guan X.F. và nnk,



Lsec: 28.7 0 Cnts 0.000 keV Det: Octane Pro Det



Lsec: 28.7 0 Cnts 0.000 keV Det: Octane Pro Det

Hình 3. Hình ảnh và kết quả phân tích SEM-EDS cho mẫu ilmenit hạt (a) và mài bóng (b).

Bảng 1. Hàm lượng các oxit tại một số điểm bắn EDS.

Oxit	Hàm lượng (%)						
	Điểm 1	Điểm 2	Điểm 3	Điểm 4	Điểm 5	Điểm 6	Điểm 7
TiO ₂	48,12	48,19	48,15	48,11	48,08	47,98	48,76
MnO	2,94	2,90	2,93	2,97	2,96	2,98	3,02
T.Fe	42,44	42,60	42,04	42,18	42,11	42,22	42,16
Tổng	93,50	93,69	93,12	93,26	93,15	93,18	93,94

Ghi chú: T.Fe: Tổng sắt

Bảng 2. Vị trí đỉnh của giản đồ phổ Raman và các pha dao động tương ứng đối với MnTiO₃.

Vị trí (cm ⁻¹)	166	203	237	264	335	359	467	601	685
Ký hiệu	E _g ⁵	A _g ⁵	E _g ⁴	A _g ⁴	A _g ³	E _g ³	A _g ²	E _g ¹	A _g ¹
Pha dao động	Mn <-> O	Mn <-> O	TiO ₆ <-> Mn	TiO ₆ <-> Mn	O-Ti-O	O-Ti-O	O-Ti-O	Ti-O	Ti-O

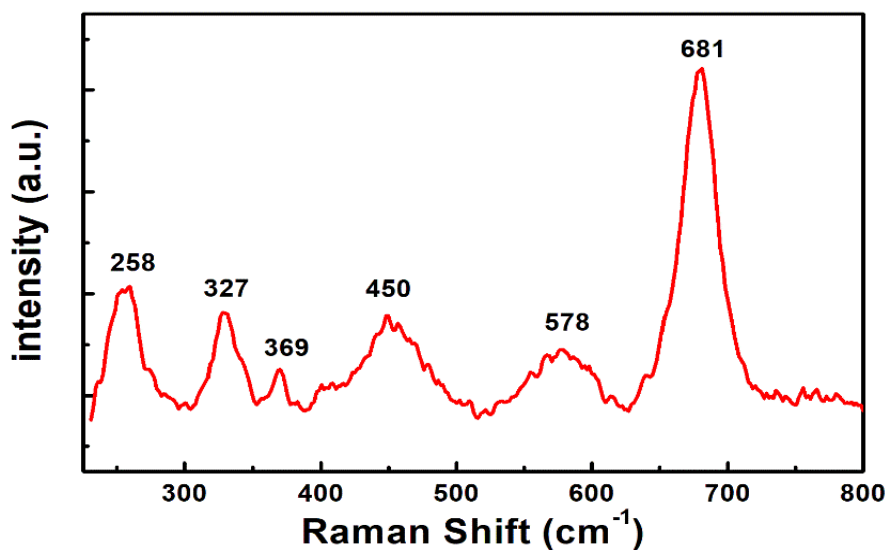
Bảng 3. Vị trí đỉnh của giản đồ phổ Raman và các pha dao động tương ứng đối với FeTiO₃.

Vị trí (cm ⁻¹)	151	217	280	320	374	598	690
Ký hiệu	E _g ⁵	E _g ⁴	A _g ⁴	A _g ³	E _g ³	E _g ¹	A _g ¹
Pha dao động	Fe <-> O	TiO ₆ <-> Fe	TiO ₆ <-> Fe	O-Ti-O	O-Ti-O	Ti-O	Ti-O

2013). Các nghiên cứu trước đã chỉ ra rằng, các vị trí đỉnh của giản đồ Raman được thể hiện cho khoáng vật pyrophanit (MnTiO₃) bao gồm 166, 203, 237, 264, 335, 359, 467, 601, 685 cm⁻¹ (Bảng 2) (Wu, Qin, Dubrovinsky, 2010). Các đỉnh tại 151, 217, 280, 320, 374, 598, 690 cm⁻¹ được thể

hiện cho khoáng vật ilmenit (FeTiO₃) (Bảng 3) (Guan X.F., Zheng J. và nnk, 2013).

Kết quả phân tích quang phổ Raman cho mẫu ilmenit trong nghiên cứu này thể hiện các đỉnh Raman tại 258, 327, 369, 450, 578, 681 cm⁻¹ (Hình 4). Từ kết quả ở Bảng 2, 3 cho thấy, vị trí đỉnh các



Hình 4. Giản đồ quang phổ Raman của mẫu phân tích.

pha dao động phổ Raman của ilmenit (FeTiO_3) và pyrophanit (MnTiO_3) có nhiều giá trị tương ứng với nhau. Các vị trí đỉnh các pha dao động khác nhau thể hiện sự ảnh hưởng của ion Fe^{2+} và Mn^{2+} trong cấu trúc mạng tinh thể của khoáng vật. Giảm đồ phổ Raman của mẫu ilmenit trong nghiên cứu này không trùng khớp với phổ dao động điển hình của ilmenit (FeTiO_3) và pyrophanit (MnTiO_3) được công bố. Điều này chỉ ra rằng có sự thay đổi nhất định trong mạng tinh thể của khoáng vật ilmenit nghiên cứu.

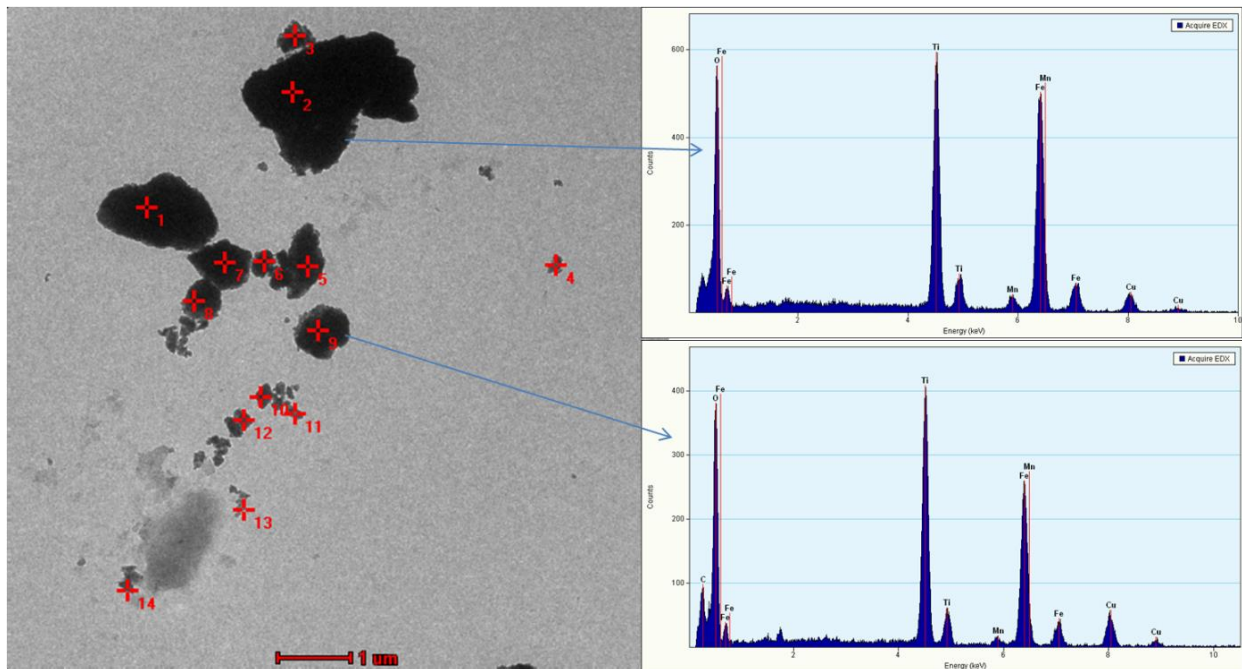
Để có nhận định một cách hệ thống, các tác giả sử dụng kết quả phân tích TEM từ nghiên cứu trước để thảo luận (Trần Thị Hiến và nnk, 2015). Hình 5 là hình ảnh các hạt ilmenit dưới kính hiển vi điện từ truyền qua (TEM) cùng giản đồ phổ EDS biểu diễn các nguyên tố có mặt trong thành phần một số hạt khoáng điển hình (ngoại trừ đỉnh Cu do lưới đồng chứa mẫu). Kết quả cho thấy rõ ràng với những điểm bắn EDS có diện tích tiếp xúc rất nhỏ, dạng kích thước nano (Hình 5), đều cho thấy sự tồn tại của ion Mn và chiếm tỉ lệ % nhất định. Kết quả này góp phần ủng hộ nhận định trong mẫu nghiên cứu, chủ yếu tồn tại khoáng vật trung gian ilmenit-pyrophanit với sự tồn tại một phần nhỏ ion Mn trong mạng tinh thể khoáng vật.

Như vậy, cùng với kết quả phân tích bằng phương pháp SEM và TEM cho thấy sự tồn tại của

ion Mn^{2+} trong cấu trúc khoáng ilmenit nghiên cứu với tỉ lệ nhất định. Một phần ion Mn^{2+} đã thay thế đồng hình ion Fe^{2+} trong cấu trúc mạng tinh thể khoáng ilmenit, tạo thành khoáng vật trung gian ilmenit-pyrophanit ($(\text{Fe}_x, \text{Mn}_{1-x})\text{TiO}_3$). Nhận định này phù hợp với thực tế rằng việc tuyển luyện tách Ti tinh khiết theo phương pháp vật lý cho quặng khu vực nghiên cứu gặp khó khăn do sự tồn tại Mn trong cấu trúc khoáng vật. Do vậy, phương pháp tuyển luyện theo phương pháp hóa học cho quặng ilmenit khu vực nghiên cứu được lưu ý đề xuất.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng trong thành phần vật chất của quặng ilmenit trong thành tạo cát đỏ khu vực Bình Thuận có thành phần tạp chất MnO. Tổ hợp các kết quả phân tích XRD, SEM-EDS, và quang phổ Raman đã cho thấy Mn không tồn tại dưới dạng khoáng vật độc lập (khoáng vật pyrophanit (MnTiO_3)) mà tồn tại dưới dạng ion thay thế Fe^{2+} cấu trúc tinh thể khoáng vật ilmenit (FeTiO_3) tạo thành khoáng vật trung gian ilmenit-pyrophanit ($(\text{Fe}_x, \text{Mn}_{1-x})\text{TiO}_3$). Do vậy, để nâng cao giá trị quặng tinh ilmenit cần thiết phải nghiên cứu các quá trình công nghệ chế biến sâu để tách tạp chất Mn trong cấu trúc tinh thể khoáng vật ilmenit



Hình 5. Kết quả phân tích TEM-EDS cho các hạt ilmenit (Trần Thị Hiến và nnk, 2015).

hợp lý, nhằm nâng cao chất lượng tinh quặng ilmenit.

Đóng góp của các tác giả

Khái niệm hóa: Nguyễn Thị Hồng Gấm; Phương pháp luận: Bùi Hoàng Bắc; Kiểm chứng: Nhữ Thị Kim Dung; Phân tích dữ liệu: Nguyễn Thị Hồng Gấm, Bùi Hoàng Bắc; Viết bản thảo bài báo: Nguyễn Thị Hồng Gấm, Bùi Hoàng Bắc; Đánh giá và chỉnh sửa: Nhữ Thị Kim Dung.

Tài liệu tham khảo

Lương Quang Khang, Khương Thế Hùng, (2016). Binh Thuan., Distribution and potential of the titanium, zircon and rare earth minerals in the coastal placer, South Suoi Nhum, *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, 54, 56-65.
 Bùi Tất Hợp, (2010). *Đánh giá tiềm năng sa khoáng tổng hợp ven biển miền Trung Việt Nam, sử dụng hợp lý kinh tế chúng và bảo vệ môi trường*. Luận án tiến sĩ địa chất, Trường Đại học Mỏ - Địa chất.
 Nguyen Tien Dung, Bui Hoang Bac, Do Manh An, Tran Thi Van Anh, (2017). *Distribution and Reserve Potential of Titanium-Zirconium Heavy Minerals in Quang an Area, Thua Thien Hue Province, Vietnam*, *Advances and Applications in Geospatial Technology and Earth Resources*, 326-339

Quyết định số 1546/QĐ-TTg, (2013). *Quyết định phê duyệt quy hoạch phân vùng thăm dò, khai thác, chế biến và sử dụng quặng titan giai đoạn đến năm 2020, có xét tới năm 2030*. Ngày 03/09/2013.

Tổng cục địa chất và Khoáng sản – Bộ Tài nguyên và Môi trường, (2010). *Điều tra, đánh giá tiềm năng sa khoáng titan – zircon trong tầng cát đỏ vùng Ninh Thuận, Bình Thuận và Bắc Bà Rịa - Vũng Tàu*. Nguyễn Thị Hồng Gấm, (2016). *Nghiên cứu công nghệ khai thác và tuyển hợp lý nhằm phát triển bền vững tài nguyên sa khoáng titan – zircon trong tầng cát đỏ khu vực Bình Thuận, Việt Nam*. Viện Khoa học và Công nghệ Mỏ - Luyện kim.

Waychunas, GA., (1991). Crystal chemistry of oxides and oxyhydroxides. *in Rev. Min.*, 25, oxide minerals, D.H. Lindsley, ed., 11-68.

Wu X., Qin S., Dubrovinsky L., (2010). Structural characterization of the $\text{FeTiO}_3\text{-MnTiO}_3$ solid solution. *Journal of Solid State Chemistry* 183 (2010) 2483-2489.

Guan X.F., Zheng J., Zhao M.L., Li L.P., Li G.S., (2013). Synthesis of FeTiO_3 nanosheets with {0001} facets exposed: enhanced electrochemical performance and catalytic activity. *RSC Advances*, 2013, 3, 13635.

Trần Thị Hiến và nnk., (2015). *Nghiên cứu tuyển quặng titan – zircon khu Lương Sơn 1, Bắc Bình, Bình Thuận*. Viện Khoa học và Công nghệ Mỏ - Luyện kim, phụ lục kết quả phân tích.