

Cải thiện độ dẫn điện và độ bền nhiệt của Polystyrene bằng graphene khử hai giai đoạn trong chế tạo vật liệu Nanocomposite Polystyrene/graphene

• Nguyễn Tường Vy

• Vũ Năng An

• Hà Thúc Huy

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM.

(Bài nhận ngày 29 tháng 07 năm 2014, nhận đăng ngày 28 tháng 01 năm 2015)

TÓM TẮT

Bằng con đường tổng hợp *insitu* vi nhũ tương chúng tôi đã tổng hợp thành công nanocomposite trên nền polystyrene được gia cường bằng các tấm graphene oxide khử hai giai đoạn bằng nhiệt độ và tác nhân khử NaBH_4 sau khi chúng đã được xử lý với monoglyceride. Sự kết hợp này cho thấy

những cải thiện đáng kể về độ dẫn điện (khoảng $2,01 \times 10^{-2} \text{ S/cm}$), độ bền nhiệt (tăng khoảng 120°C) cũng như tính chất cơ lý (nhiệt độ chuyển pha thủy tinh tăng khoảng $6,40^\circ\text{C}$, modul tích tăng 45 %) của vật liệu nanocomposite tạo thành so với nhựa nền ban đầu.

Từ khóa: Độ dẫn điện, độ bền nhiệt, monoglyceride, nanocomposite, graphene, graphene oxide, polystyrene, vi nhũ tương.

MỞ ĐẦU

Graphene là một vật liệu nổi bật với những tính chất ưu việt hiện nay do độ dẫn điện, độ bền nhiệt cao và được biết đến qua nhiều ứng dụng trong nhiều lĩnh vực kỹ thuật như pin nhiên liệu [1], vật liệu siêu dẫn [2], cảm biến sinh học [3], nanocomposite [4]... Bằng con đường khử kết hợp nhiệt độ và xử lý với hóa chất đã được chứng minh là con đường rất hiệu quả cho quá trình tách bóc cũng như khử graphene oxide thành graphene theo con đường Top-Down từ nguồn graphite ban đầu [5]. Polystyrene (PS) được biết đến với tính chất cơ lý khá tốt, trong suốt, nhẹ và rẻ tiền được ứng dụng rất nhiều trong đời sống nhất là trong bao bì và nhiều vật dụng thông thường tuy nhiên ít được ứng dụng trong các lĩnh vực kỹ thuật cao do tồn tại một số nhược điểm

như độ kháng thấm khí thấp, chịu nhiệt chưa cao và nhất là không thể dẫn điện được. Việc cải thiện các nhược điểm này của PS có thể mở ra thêm rất nhiều ứng dụng mới cho loại vật liệu này và đây cũng là vấn đề được khá nhiều nhà khoa học trên thế giới quan tâm.

Từ khi graphene được biết đến rộng rãi vào năm 2004 thì những ứng dụng về loại vật liệu này cũng phát triển vô cùng phong phú trong đó có lĩnh vực nanocomposite với sự khá tương đồng trong cấu trúc giữa graphene và PS vào năm 2010 nhóm tác giả người Hàn Quốc đã công bố bài nghiên cứu đầu tiên về nanocomposite PS/graphene tổng hợp bằng con đường *insitu* [6] bước đầu cho thấy những cải thiện đáng kể trong

độ dẫn và tính chất cơ lý của các sản phẩm tạo thành. Bằng con đường khử kết hợp hai tác nhân nhiệt độ và NaBH_4 với sự tham gia hỗ trợ của tác nhân monoglyceride trong quá trình tổng hợp graphene được xem là phương pháp khá đơn giản, rẻ tiền và thân thiện với môi trường để tổng hợp graphene có tính chất tốt. Graphene sau đó được tiếp tục đưa vào làm pha gia cường cho PS trong quá trình tổng hợp in situ vi nhũ tương. Sản phẩm tạo thành được tiến hành phân tích độ bền nhiệt qua TGA, tính chất cơ lý qua DMA và xác định độ dẫn điện thông qua kỹ thuật phân tích hiệu ứng Hall.

VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Vật liệu

Để tổng hợp nanocomposite các hóa chất được sử dụng trong bài nghiên cứu gồm: graphit vảy tinh khiết (loại SNO-30, công ty SEC CACBON, LIMITED, Nhật), KMnO_4 (Trung Quốc), NaNO_3 (Trung Quốc), H_2O_2 (Trung Quốc), HCl (Trung Quốc), Ethanol (Chemsol-Việt Nam), Metanol (Chemsol-Việt Nam), NaBH_4 (Sigma), Acetone (Chemsol), $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ (Merk), NaHSO_3 (Trung Quốc), Sodium Dodecyl benzene sunfonat (SDBS) (Sigma Alrich), Monoglycerid (Rikemal - Đức), 1-Pentanol ($\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$)(Merk) tất cả các hóa chất đều là dạng thương mại và sử dụng trực tiếp, riêng Styren (Merk) được chưng cất lại sau khi mua về nhằm loại chất ức chế trước khi tiến hành tổng

Phương pháp nghiên cứu

Phân tích quang phổ hồng ngoại FTIR (EQUINOX 55, Bruker) và phân tích nhiễu xạ tia X dạng bột (D8- ADVANCE) các mẫu được nghiền mịn và sấy khô trong chân không 24 h ở 65°C trước khi phân tích. Các mẫu quan sát qua kính hiển vi điện tử truyền qua, TEM (Transmission Election Microscopy), trước khi

quan sát các mẫu được tiến hành chuẩn bị như sau: Với các mẫu graphene quan sát ở dạng lỏng, mẫu được phân tán trong dung môi ethanol (0,001 mg/ml) bằng siêu âm khoảng 30 phút, còn với mẫu nanocomposite được pha loãng trong nước khoảng 10 lần sau khi được tổng hợp.

Với mẫu nanocomposite dạng rắn sau khi được tạo khối mẫu được cắt trực tiếp bằng dao kim cương một lát mỏng 50 μm và tiến hành quan sát ảnh dưới kính hiển vi.

Phân bố kích thước hạt được xác định bằng thiết bị Zetasizer nano particle DTS Ver.5.1, mẫu được chuẩn bị ở dạng huyền phù được lấy trực tiếp từ hệ sau phản ứng và pha loãng khoảng 10 lần trước khi phân tích. Phân tích nhiệt lượng quét vi sai (DSC), các mẫu được thực hiện trong môi trường khí trơ, quét từ nhiệt độ phòng lên 800°C , tốc độ $10^\circ\text{C}/\text{phút}$. Các mẫu đều phải được sấy khô trước khi phân tích trên máy Metler Toledo- Đức. Phân tích nhiệt trọng lượng (TGA), các mẫu được sấy khô ở 65°C , 24h trong chân không trước khi phân tích trên thiết bị Universal V4,5A TA.

Phân tích cơ lý động (DMA) các mẫu sau khi được tổng hợp sẽ được ép ở nhiệt độ 200°C tạo mẫu có kích thước $74 \times 10 \times 1 \text{ mm}$ và tiến hành phân tích trên máy đo lưu biến (Bohlin Gemini HR nano) kiểu xoắn từ nhiệt độ phòng lên 180°C , thời gian mẫu biến dạng là 10 phút, tần số 2Hz với biến dạng $5 \times 10^{-4} \%$. Các kết quả phân tích độ dẫn sẽ được phân tích theo phương pháp đo bốn mũi dò được tích hợp trong thiết bị phân tích hiệu ứng Hall (Ecopia HMS 3000) đặt tại phòng thí nghiệm phân tích vật liệu bán dẫn và màng mỏng của trường Đại học Khoa học Tự nhiên sau khi được đo bề dày bằng thiết bị đo bề dày Stylus(Dektak 6M- Veeco, Khoa học Vật liệu). Mẫu trước khi đo được sấy khô ở 80°C , 24

giờ sau đó được nghiền mịn và ép thành viên có đường kính 13mm trên máy ép khí nén tại phòng thí nghiệm vật liệu kỹ thuật cao trường Đại học Khoa học Tự nhiên.

Tổng hợp graphene bằng cách khử kết hợp nhiệt độ và NaBH₄:

Xử lý Graphite oxide với monoglyceride tạo graphene oxide. GO được tổng hợp từ graphite tinh khiết dạng vảy và được tiến hành oxi hóa với các chất oxi hóa mạnh như KMnO₄, H₂SO₄, NaNO₃ và H₂O₂ theo phương pháp Hummers [7]. Sau khi GO được tổng hợp, được phân tán trong hệ dung môi cồn: nước (50:50 %wt) bằng phương pháp siêu âm tạo hệ huyền phù (1,00g/l). Cho 100ml hệ phân tán GO vào bình cầu 3 cổ 250 ml, lắp hệ hoàn lưu và khuấy cơ để chuẩn bị cho quá trình xử lý. Sau đó nâng nhiệt độ lên 80 °C, tiếp tục chọn 7,00 g monoglyceride vào khuấy trong 24h. Sản phẩm tạo thành đem sấy ở 90 °C trong 24h để đuổi hết dung môi thu được sản phẩm kí hiệu là GOM.

Khử graphene oxid thành graphene bằng con đường khử kết hợp hai giai đoạn:

GOM sau đó được tán nhuyễn và cho vào bình cầu 2 cổ khuấy cơ và ủ trong nhiệt độ 150 °C trong 2 giờ. Sản phẩm tạo thành được ly tâm nhiều lần với cồn để rửa bỏ monoglyceride còn thừa sau quá trình xử lý. Sau khi được loại bỏ monoglyceride sản phẩm được phân tán lại trong nước bằng phương pháp siêu âm tạo hệ huyền phù (1,00 g/l). 100 ml hệ huyền phù được cho vào bình cầu ba cổ, lắp hệ khuấy cơ và hoàn lưu. Tiếp theo hệ phản ứng được đưa lên pH ≈ 8 bằng dung dịch NH₃ và 0,80 g NaBH₄ được cho vào bình

cầu và tiến hành khử trong 4 giờ. Sản phẩm tạo thành được lọc rửa nhiều lần với nước và sấy khô ở 80 °C trong 24 giờ, mẫu được kí hiệu là rGOMa.

Tổng hợp nanocomposite polystyrene/ graphene khử hai giai đoạn

Hệ chất hoạt động bề mặt (nước cất, SDBS, C5H11OH) được pha như Bảng 1 được khuấy từ tạo một dung dịch đồng nhất, sau đó rGOMNa được phân tán trong hệ hoạt động bề mặt bằng phương pháp siêu âm. Toàn bộ hỗn hợp được cho vào bình cầu 3 cổ, 500 ml có lắp ống hoàn lưu và hệ khuấy cơ, ban đầu hệ được làm lạnh trong bể đá (nhiệt độ ≤ 5 °C) đồng thời tiến hành cho monomer styrene vào hệ từ từ bằng phễu nhỏ giọt. Sau khi monomer được cho vào hết, hệ tiếp tục được làm lạnh và tiến hành đánh siêu âm tần số 24 KHz trong 30 phút, tạo hỗn hợp nhũ tương trước phản ứng. Lắp hệ kín cho nitơ vào sục trong lòng dung dịch trong 20 phút, cho khuấy cơ kết hợp cho từ từ Na₂S₂O₈ và NaHSO₃ vào hệ phản ứng. Sau khi cho hết hóa chất tiến hành nâng nhiệt độ của hệ lên 85°C với thời gian phản ứng là 4giờ được tính từ lúc nhiệt độ phản ứng đạt 85 °C. Sản phẩm thu được cho kết tụ trong methanol và sau đó tiến hành lọc rửa nhiều lần với nước để rửa sạch chất hoạt động bề mặt, cuối cùng sản phẩm sẽ được sấy chân không ở 65 °C trong 24 giờ, mẫu tạo thành kí hiệu PSrGOMNa. Trong nghiên cứu chúng tôi có tiến hành tổng hợp thêm mẫu polystyrene trắng không gia cường rGOMNa bằng phương pháp vi nhũ tương theo quy trình tương tự tổng hợp mẫu PSrGOMNa, mẫu kí hiệu là PS.

KẾT QUẢ THẢO LUẬN

Kết quả đo trọng lượng phân tử

Qua kết quả phân tích GPC (Bảng 2) chúng tôi nhận thấy rằng mẫu masterbatch cho trọng

lượng phân tử và độ đa phân tán lớn hơn đồng thời hiệu suất thu được thấp hơn so với mẫu PS

trắng. Theo các tác giả Hàn Quốc [6], độ đa phân tán tăng trong trường hợp tổng hợp masterbatch là do ảnh hưởng của các tâm bất góc tự do trên bề mặt các tấm graphene. Khối lượng phân tử của polymer trong trường hợp PSrGOMNa cao hơn so với PS trắng thì có thể được giải thích như sau: theo lý thuyết các hạt polymer sẽ được dần hình thành và phát triển trong micelle và sau đó

sẽ được dính lên các tấm rGOMNa dưới tác dụng lực tương tác $\pi - \pi$ giữa PS và các tấm graphene [6] (Hình 1) và những hạt cầu PS này thường có phân tử lượng nhỏ hơn do sự cản trở cũng như khả năng hấp phụ các tấm hoạt động của các tấm graphene điều này làm cho quá trình tắt mạch diễn ra nhanh hơn so với tổng hợp mẫu PS trắng.

Bảng 1. Bảng thống kê thành phần và khối lượng các chất trong quá trình tổng hợp PSrGOMNa

Nước cất hai lần (g)	Sodium Dodecyl benzen sunfonat (SDBS) (g)	1-pentanol (C ₅ OH) (g)	rGOM Na (g)	Styrene (g)	Natri thiosunfat (Na ₂ S ₂ O ₈) (g)	Natri hidrosunfit (NaHSO ₃) (g)
200,02	6,02	3,01	0,51	5,02	0,051	0,005

Kết quả phân tích FTIR

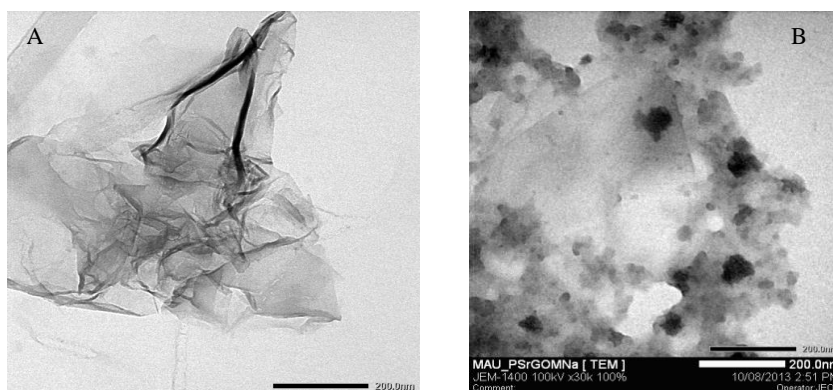
Trong kết quả FTIR của mẫu nanocomposit, PS và rGOMNa (Hình 2) các mũi xuất hiện là tập hợp các mũi đặc trưng trong phổ của cả rGOMNa và PS trắng như các dao động trong vùng 2900-3000 cm⁻¹ (đặc trưng cho các dao động kéo dãn của -CH₂ trên mạch chính), 1600-1900 cm⁻¹ (các dao động tổ hợp của C-H trong vòng benzene), 1400-1600 cm⁻¹ (dao động kéo dãn của C-C trên vòng thơm, dao động của cả vòng) và các mũi trong vùng từ 905-1300 cm⁻¹ (đặc trưng cho những dao động biến dạng của C-H trong vòng thơm), mũi ở ~750 cm⁻¹ (đặc trưng cho dao động biến dạng của các nguyên tử hydro trên vòng), mũi ở ~690 cm⁻¹ (dao động uốn của vòng thơm).

Kết quả phân tích XRD

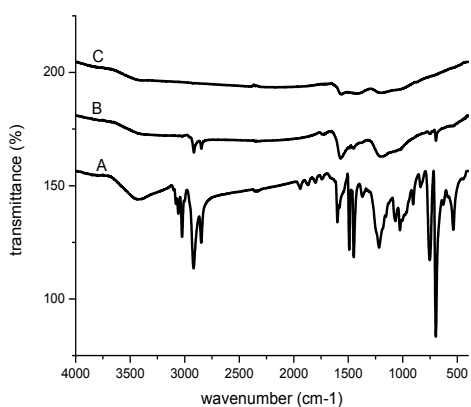
Tất cả các mẫu hầu như không có mũi trong vùng 2-theta từ 2-30° trên giản đồ XRD (Hình 3), như vậy cấu trúc của PS và rGOMNa hầu như không thay đổi sau quá trình tổng hợp, qua kết quả XRD thu được của mẫu nanocomposite còn cho thấy các lớp graphene không bị tụ tập lại sau quá trình tổng hợp. Trong giản đồ XRD của PS và PSrGOMNa đều có sự xuất hiện của hai mũi có tín hiệu thấp và trải rộng trong vùng 2-theta từ 15-25°, đây được xem là hai mũi đặc trưng cho cấu trúc vô định hình của nhựa nền PS như kết quả đã công bố trong nghiên cứu khác của nhóm tác giả Wenig [8].

Bảng 2. Bảng thống kê kết quả trọng lượng phân tử và độ đa phân tán bằng phương pháp sắc kí thẩm gel (GPC) của các mẫu PS và PSrGOMNa tổng hợp bằng phương pháp vi nhũ tương

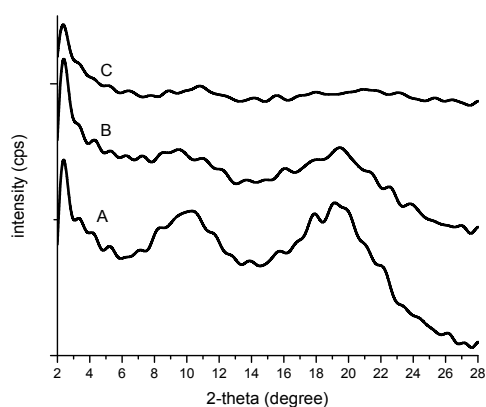
Mẫu	PS	PSrGOMNa
M_n	$1,930 \times 10^5$	$3,284 \times 10^5$
M_w	$1,463 \times 10^6$	$3,335 \times 10^6$
PDI	7,581	10,155
Hiệu suất phản ứng (%)	$90,27 \pm 1,88$	$75,78 \pm 3,04$



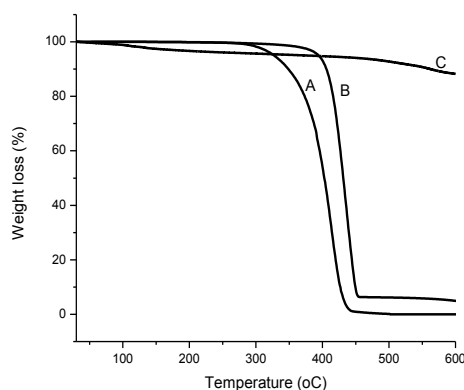
Hình 1. Ảnh TEM của mẫu A. rGOMNa; B. PSrGOMNa



Hình 2. Phổ FTIR. A. PS; B. PSrGOMNa và C. rGOMNa



Hình 3. Giảm đồ XRD A. PS; B. PSrGOMNa và C. rGOMNa



Hình 4. Giản đồ TGA. A. PS; B. PSrGOMNa và C. rGOMNa

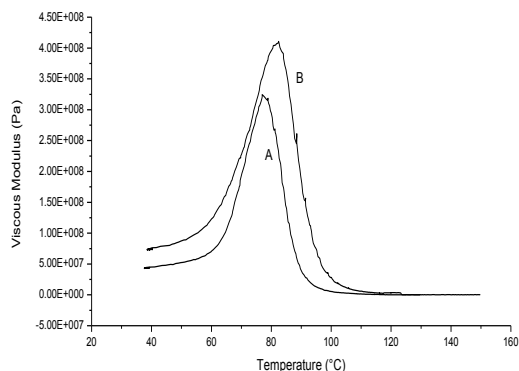
Kết quả phân tích TGA

Mẫu nanocomposite cho kết quả độ bền nhiệt tăng mạnh so với mẫu PS trắng với nhiệt độ bắt đầu phân hủy tăng hơn 100 °C (Hình 4). Kết quả này cũng khá phù hợp với nhiều kết quả khác đã công bố trước đây [6, 9], điều này có thể được lý giải như sau với khả năng bảo vệ của các tấm rGOMNa, đóng vai trò như những “tấm chắn” bảo vệ cho các mạch polymer, khi cung cấp nhiệt từ bên ngoài các mạch polyme sẽ nhận nhiệt và sẽ chuyển động khi nhiệt đủ lớn thì các mạch sẽ bị đứt gãy và sau đó là quá trình phân hủy diễn ra cho tới khi hoàn toàn, ở đây do rGOMNa có độ bền nhiệt cao (đường C trong Hình 4) nên chúng sẽ hấp thụ bớt một phần năng lượng từ nhiệt do bên ngoài cung cấp làm cho các mạch polyme nhận nhiệt ít hơn và kéo dài thời gian bắt đầu phân hủy cũng như là nhiệt độ bắt đầu phân hủy trong trường hợp này cũng sẽ tăng cao.

Kết quả phân tích DMA

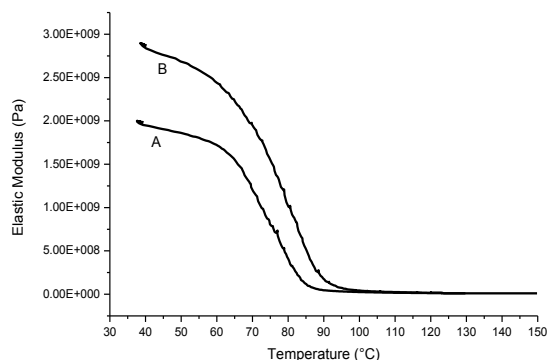
Kết quả modul đàn hồi (Hình 7) cho thấy độ cứng của vật liệu nanocomposite tăng khoảng 40 % so với PS trắng ban đầu trong vùng nhiệt trước

vùng chuyển pha thủy tinh của vật liệu, kết quả này cho thấy hiệu quả của quá trình gia cường các tấm graphene rGOMNa trên nền PS, quá trình này làm cho các mạch PS trở nên cứng hơn và đàn hồi hơn do sự hình thành các nút thắt tại các điểm tương tác giữa các sợi polymer và các tấm rGOMNa, khiến cho các mạch polymer khó quay hơn và trượt lên nhau cũng khó khăn hơn so với mẫu trắng khi tăng nhiệt độ hoặc dưới tác dụng của lực bên ngoài. Tại vùng điểm uốn của modul đàn hồi tương ứng với vùng chuyển pha thủy tinh modul đàn hồi giảm một cách đột ngột do các mạch polymer trong giai đoạn này bắt đầu chuyển động mạnh polymer chuyển từ trạng thái cứng rắn trở nên mềm dẻo hơn tự do hơn trên toàn mạch. Sau khi kết thúc giai đoạn chuyển pha, modul đàn hồi khi này có xu hướng ổn định và cho độ lớn như nhau trong cả trường hợp có chất độn và không có chất độn. Có thể nói sau khi trở nên mềm dẻo độ biến dạng của vật liệu không phụ thuộc vào lượng chất độn nữa, chúng biến dạng gần như nhau theo nhiệt độ với cùng ứng suất tác dụng.



Hình 5. Đường biểu diễn modul thoát theo nhiệt độ A. PS; B. PSrGOMNa.

Mẫu masterbatch sau khi được gia cường với các mảnh rGOMNa có modul thoát cao hơn so với mẫu PS trắng cho thấy các lớp graphen đã đan xen vào giữa mạch PS và tương tác tốt với nhựa nền PS làm tăng modul thoát của vật liệu. Giá trị modul thoát của mẫu có gia cường luôn cao hơn trong suốt giai đoạn trước và sau khi kết thúc hoàn toàn quá trình chuyển pha (đỉnh của modul thoát Hình 5) cho thấy vật liệu được gia cường ít bị biến dạng dưới cùng ứng suất tác dụng hơn so với khi không được gia cường, cũng như kết quả modul tích đạt được điều này cho thấy sự tương tác mạnh giữa nhựa nền PS và các tấm rGOMN. Nhiệt độ chuyển pha thủy tinh (T_g) của mẫu nanocomposite xác định thông qua nhiệt

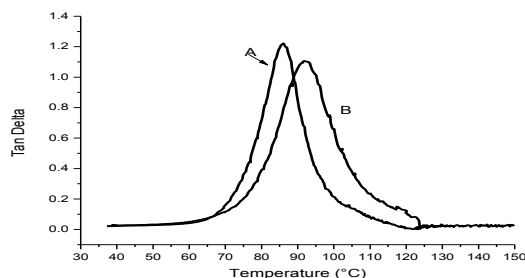


Hình 6. Đường biểu diễn tan delta theo nhiệt độ A. PS; B. PSrGOMNa.

độ tại đỉnh trong giản đồ phân tích Tan delta (Hình 6 và Bảng 3) cao hơn nhiều so với mẫu PS trắng (khoảng 6 °C) một lần nữa cho thấy khả năng tương tác tốt của graphen với nhựa nền PS. Ngoài ra giá trị tan delta này còn có thể được hiểu như giá trị độ giảm chấn của vật liệu, với giá trị đỉnh tan delta của việc gia cường các mảnh rGOMNa thấp hơn so với PS trắng cho thấy khi được gia cường phần năng lượng bị tán thành nhiệt trong vật liệu thấp hơn khi không được gia cường, kết quả này cũng hoàn toàn phù hợp với các giá trị modul tích và modul thoát trước đó. Vì khi được gia cường phần cứng của vật liệu tăng mạnh hơn so với phần nhớt của vật liệu nên tan delta cho kết quả cao hơn là điều hợp lý.

Bảng 3. Tg tính theo tan delta

Mẫu	Tg (°C)
PS	86,0
PSrGOMNa	92,4



Hình 7. Đường biểu diễn modul tích theo nhiệt độ A. PS, B. PSrGOMNa.

Bảng 4. Kết quả đo độ dẫn, điện trở mặt và bề dày của các mẫu

Tên Mẫu	Độ Dẫn S/cm (Độ dẫn= $1/(R_s \times d)$ [10])	Điện trở mặt (R_s) ($K\Omega/$)	Bề dày mẫu d (cm)
rGOMNa	40,80	0,0018	0,0134
PS	Rất nhỏ	Vô cùng lớn	0,0135
PSrGOMNa	$2,009 \times 10^{-2}$	3,555	0,0135

Kết quả đo độ dẫn điện

Với các hạt cầu PS bám lên trên bề mặt các tấm rGOMNa như trong ảnh TEM (Hình 1) mẫu nanocomposite cho thấy sự cải thiện đáng kể trong độ dẫn điện (Bảng 4) mặc dù độ dẫn chưa cao tuy với kết quả này đạt được cũng đã mở ra một hy vọng cho việc tạo thành các nanocomposite có thể dẫn điện được và có thể mở ra thêm nhiều hướng ứng dụng của PS trong nhiều lĩnh vực thích hợp.

KẾT LUẬN

Vật liệu nanocomposite PSrGOMNa tạo thành bằng con đường polymer hóa nhũ tương insitu và graphene tổng hợp theo con đường khử kết hợp nhiệt độ và NaBH_4 đây cũng được xem như một phương pháp khá thân thiện môi trường

và phù hợp trong việc chế tạo các vật liệu nanocomposite. Thông qua lực tương tác π - π giúp cho việc gắn kết các hạt cầu PS lên bề mặt tấm rGOMNa và nhất là tại các liên diện tiếp xúc giữa chúng được quan sát qua ảnh TEM, từ đó tính chất của composite được cải thiện đáng kể trong độ dẫn điện, nhiệt độ chuyển hóa thủy tinh và độ bền qua DMA, độ bền nhiệt qua TGA so với mẫu khi không được gia cường. Với kết quả thu được mở ra thêm phạm vi ứng dụng của polystyrene trong một số các lĩnh vực như năng lượng, vật liệu bền nhiệt và có độ bền cao.

Công trình này được thực hiện dưới sự tài trợ từ đề tài loại C cấp Đại học Quốc Gia – HCM được duyệt theo Công văn số 2527/DHQG-KHCN ngày 26/12/2014.

Improvement in conductivity and thermal stability of polystyrene with two-step reduced graphene oxide based nanocomposite Graphene /polystyrene

• Nguyen Tuong Vy

• Vu Nang An

• Ha Thuc Huy

University of Science, VNU-HCM

ABSTRACT

In situ microemulsion synthesis, we have synthesized successfully nanocomposite based on polystyrene (PS) and two-step reduced graphene oxide sheets with heat and NaBH₄ agent after they had been treated by monoglyceride. Resulted Nanocomposite has been better in electrical conductivity

(approximately $2,01 \times 10^{-2} S / cm$), thermal stability (increased about 120 °C) and physical properties (glass transition temperature increases over 6.40 °C, elastic modulus increases by 45 %) than the pure PS properties.

Key words: Conductivity, microemulsion, monoglycerid, nanocomposite, graphene oxide, graphene, polystyrene, thermal stability, two-steps reduction

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. H.J. Choi, S.M. Jung, J.M. Seo, D.W. Chang, L. Dai, J.B. Baek, Graphene for energy conversion and storage in fuel cells and supercapacitors, *Nano Energy*, 1, 534-551 (2012).
- [2]. L.L. Zhang, R. Zhou & X.S. Zhao, Graphene-based materials as supercapacitor electrodes, *Journal of Materials Chemistry*, 20, 5983-5992 (2010).
- [3]. Y. Shao, J.H. Wang, J. Wu, I. Liu, A. Aksay Y.Lin, Graphene based electrochemical sensors and biosensors: A review, *Electroanalysis*, 22, 1027-1036 (2010).
- [4]. R. Verdejo, M. M. Bernal & M. A. Romasanta, M. Lopez, Graphene filled polymer nanocomposites, *Journal of Materials Chemistry*, 21, 3301-3310 (2011).
- [5]. X. Gao, J. Jang, S. Nagas, Hydrazine and thermal reduction of graphene oxide: reaction mechanisms, product structures, and reaction design, *The Journal of Physical Chemistry C*, 114, 832-842 (2009).

- [6]. S.P. Patole, H. Kang, J.B. Yoo, T.H. Kim & J.H. Ahn, A facile approach to the fabrication of graphene /polystyrene nanocomposite by in situ microemulsion polymerization, *Journal of Colloid and Interface Science*, 350, 530-537 (2010).
- [7]. W.S. Hummers, R.E. Offeman, Preparation of graphitic oxide, *Journal of the American Chemical Society*, 80, 1339-1339 (1958).
- [8]. W. Wenig, F.E. Karasz, W.J. MacKnight, Structure and properties of the system: poly(2,6-dimethylphenylene oxide) isotactic polystyrene. Small-angle x-ray studies, *Journal of Applied Physics*, 46, 4194-4198 (1975).
- [9]. S. Basu, M. Singhi, B. K. Satapathy, M. Fahim, Dielectric, electrical, and rheological characterization of graphene filled polystyrene nanocomposites, *Polymer Composites*, 34, 2082-2093 (2013).
- [10]. M. Heaney, *Electrical Conductivity and Resistivity*, Electrical Measurement, Signal Processing, and Displays, San Francisco, 1-14 (2004).