



**HAL**  
open science

# MÔ PHỎNG ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC KHUYẾT ĐIỂM BỀ MẶT ĐẾN SỰ PHÂN BỐ ĐIỆN TÍCH BÊN TRONG ĐIỆN MÔI POLYMER

Hoàng Mai Quyền, Nguyễn Mạnh Quân, Vũ Thị, Thu Nga, Trần Anh Tùng,  
Nguyễn Xuân Trường, Séverine Le Roy

► **To cite this version:**

Hoàng Mai Quyền, Nguyễn Mạnh Quân, Vũ Thị, Thu Nga, Trần Anh Tùng, et al.. MÔ PHỎNG ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC KHUYẾT ĐIỂM BỀ MẶT ĐẾN SỰ PHÂN BỐ ĐIỆN TÍCH BÊN TRONG ĐIỆN MÔI POLYMER. Vietnam National Conference on Solid State Physics & Materials Science (SPMS), Nov 2021, Quy Nhon City, Vietnam. hal-03855319

**HAL Id: hal-03855319**

**<https://hal.science/hal-03855319>**

Submitted on 16 Nov 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# MÔ PHỎNG ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC KHUYẾT ĐIỂM BỀ MẶT ĐẾN SỰ PHÂN BỐ ĐIỆN TÍCH BÊN TRONG ĐIỆN MÔI POLYMER

Hoàng Mai Quyền<sup>1\*</sup>, Nguyễn Mạnh Quân<sup>1</sup>, Vũ Thị Thu Nga<sup>2</sup>, Trần Anh Tùng<sup>2</sup>, Nguyễn Xuân Trường<sup>3</sup>, Séverine Le Roy<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, 298 Cầu Diễn, Bắc Từ Liêm, Hà Nội

<sup>2</sup>Khoa Kỹ thuật điện, Trường Đại học Điện lực, 235 Hoàng Quốc Việt, Bắc Từ Liêm, Hà Nội

<sup>3</sup>Khoa Năng lượng, Trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội, 18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội

<sup>4</sup>CNRS; LAPLACE, Paul Sabatier University, 31062 Toulouse, France

\*Email: [quyenhm@hau.edu.vn](mailto:quyenhm@hau.edu.vn)

## Tóm tắt:

Độ bền của vật liệu cách điện có tính quyết định đến độ tin cậy của các hệ thống điện. Một trong những tác nhân gây ảnh hưởng đến độ bền cách điện của điện môi polymer là các khuyết điểm xuất hiện trên bề mặt điện môi. Các khuyết điểm này có thể dẫn đến sự tồn tại của các vùng có điện trường cục bộ lớn hơn điện trường trung bình, và do đó có thể làm tăng điện tích không gian bằng các cơ chế phun điện tích. Mục đích của nghiên cứu là tìm hiểu tác động của các khuyết điểm bề mặt đối với sự hình thành và phân bố trong không gian của các điện tích trong lòng điện môi polymer, áp dụng cho trường hợp cụ thể là điện môi Polyethylene mật độ thấp. Nghiên cứu được thực hiện dưới dạng mô hình hóa trong không gian 2D sử dụng phương pháp các phần tử hữu hạn trên cơ sở một mô hình vận chuyển điện tích đã được phát triển trước đó. Các khuyết điểm riêng lẻ với các hình thù và kích thước khác nhau, cùng với các cụm khuyết điểm gần nhau lần lượt được mô hình hóa trên bề mặt điện môi để tìm hiểu sự biến đổi về phân bố điện tích trong không gian điện môi trong các trường hợp này.

**Từ khóa:** điện môi polymer, khuyết điểm bề mặt, điện tích không gian, LDPE, FEM.

## GIỚI THIỆU

Xu hướng hiện nay là phát triển các hệ thống điện mạnh mẽ và đáng tin cậy hơn trong khi giảm kích thước của chúng, thích ứng tốt với các hạn chế về môi trường hoặc các hạn chế về trọng lượng, đáp ứng cho các hệ thống điện cao áp trong khu vực đô thị hoặc trong công nghiệp. Sự phát triển của một công cụ có thể giúp tối ưu hóa kích thước các vật liệu cách điện trong các hệ thống đó, kết hợp với kiến thức về độ tin cậy của hệ thống điện, có tầm quan trọng hàng đầu. Mà độ bền của vật liệu cách điện trong hệ thống điện có tính quyết định đến độ tin cậy của hệ thống. Các vật liệu cách điện có thể bị lão hóa, giảm độ bền cách điện, thậm chí bị đánh thủng do các ứng suất điện-nhiệt [1,2]. Dưới tác dụng của các ứng suất này, các điện tích tồn tại bên trong chất cách điện được gia tăng, di chuyển và làm tăng giá trị cường độ điện trường đặt lên vật liệu cách điện [2]. Do vậy việc nghiên cứu về cơ chế vận động của các điện tích không gian trong chất cách điện là cần thiết. Một trong những tác nhân ảnh hưởng lớn đến sự xuất hiện và tích trữ cục bộ với khối lượng lớn các điện tích là các khuyết điểm tồn tại trên bề mặt điện môi [3]. Tại vị trí các khuyết điểm trên bề mặt điện môi, độ dày của điện môi bị thay đổi nó có thể dẫn đến sự

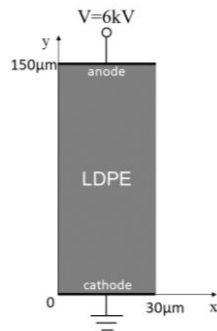
tồn tại của các vùng có điện trường cục bộ lớn hơn điện trường trung bình [4], và do đó có thể làm tăng điện tích không gian bằng các cơ chế phun điện tích. Nhiều nghiên cứu thực nghiệm và mô hình hóa đã được tiến hành để tìm hiểu về tác động của các khuyết điểm bề mặt lên độ bền cách điện các điện môi chân không, polymer và nano bán dẫn [5-7]. Tuy nhiên, các mô hình sử dụng trong các nghiên cứu này thường ở dạng tương đối đơn giản, hoặc giải tích hoặc mô hình số 1D.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sẽ sử dụng một mô hình vận chuyển điện tích 2D để tìm hiểu ảnh hưởng của các khuyết điểm bề mặt đối với sự hình thành và phân bố trong không gian của các điện tích trong lòng điện môi. Mô hình số này được nhóm nghiên cứu phát triển qua nhiều giai đoạn, từ mô hình số 1D theo phương pháp thể tích hữu hạn (FVM) [8] cho đến mô hình số 2D trên phần mềm Comsol Multiphysics® theo phương pháp các phần tử hữu hạn (FEM) [9], cho phép tích hợp các quá trình vật lý xảy ra trong lòng điện môi như sự sản sinh, kết hợp, tích trữ và vận chuyển điện tích để mô tả các đặc tính điện của điện môi polymer. Với sự trợ giúp của mô hình vận chuyển điện tích 2D, các dạng khuyết điểm và cụm khuyết điểm khác nhau sẽ được mô hình hóa trên bề mặt vật liệu

polyethylene mật độ thấp (LDPE), qua đó xem xét được sự thay đổi về phân bố điện tích bên trong điện môi so với trường hợp điện môi có bề mặt nhẵn lý tưởng.

### DIỆN MÔI MẪU VÀ CÁC THÔNG SỐ MÔ PHỎNG

Điện môi mẫu LDPE trong mô phỏng có độ dày là  $150\mu\text{m}$  và chiều rộng là  $30\mu\text{m}$ . Trong thực tế, chiều rộng của điện môi phải lớn hơn độ dày rất nhiều để hạn chế các hiện tượng phóng điện bề mặt do các chất bụi bám trên bề mặt điện môi. Nhưng trong mô phỏng, các điều kiện đặt điện áp và tình trạng của các mặt bên không tiếp xúc với điện cực là đồng nhất, mặc dù chiều rộng điện môi bé, cũng không gây ra các hiện tượng phát sinh ảnh hưởng đến việc nghiên cứu phân bố điện tích. Hơn nữa, chiều rộng điện môi bé sẽ giúp tiết kiệm số lượng tính toán tại các phân tử lưới do đó tiết kiệm thời gian thực hiện các mô phỏng. Hình 1 giới thiệu kích thước của điện môi mẫu và điều kiện đặt điện áp lên điện môi. Đối với các hình vẽ trong báo cáo này, cathode đặt ở vị trí độ dày bằng 0 còn anode đặt ở vị trí độ dày bằng  $150\mu\text{m}$ . Điện áp đặt lên điện môi trong các mô phỏng là  $6\text{kV}$ , tương ứng với điện trường là  $40\text{kV/mm}$ .



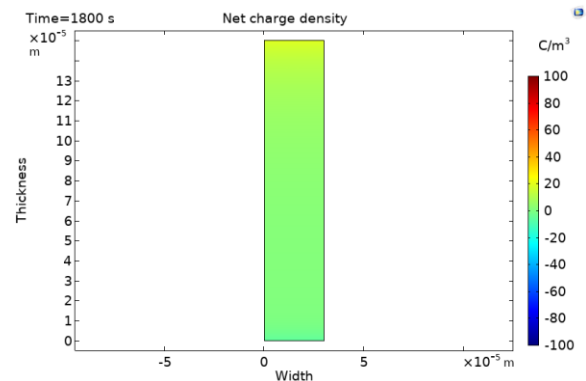
Hình 1: Sơ đồ điện môi mẫu và các điện cực

Mô hình vận chuyển điện tích 2D tích hợp các hiện tượng phun điện tích từ các điện cực vào điện môi, vận chuyển điện tích theo cơ chế liên tục mắc và giải thoát khỏi các bẫy năng lượng lân cận, kết hợp giữa các điện tích trái dấu,... Đây là mô hình số lượng cực, có xét đến hai loại hạt mang điện là electron (e) và lỗ trống (h). Thông số vi mô của vật liệu LDPE trong các mô phỏng của nghiên cứu này, được thu thập và tối ưu hóa từ các nghiên cứu thực nghiệm và bán thực nghiệm trên vật liệu LDPE và được tổng hợp trong tài liệu [9]. Giá trị của các thông số vi mô này được giới thiệu trong bảng 1.

Bảng 1: Thông số vi mô của vật liệu LDPE dùng trong các mô phỏng.

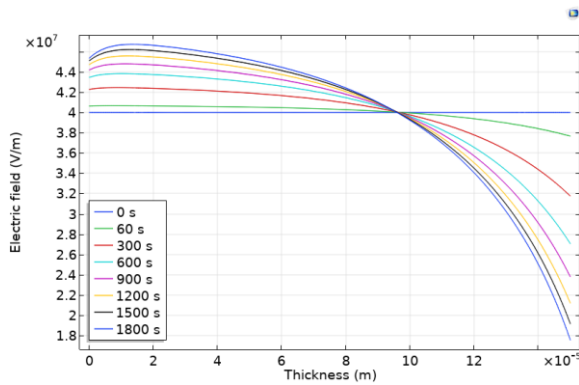
Thông số	Giá trị
<b>Hệ số kết hợp</b>	
$S_0, S_1, S_2$	$4.10^{-3} \text{ m}^3\text{C}^{-1}\text{s}^{-1}$
$S_3$	0
<b>Hệ số mắc bẫy</b>	
$B_e$	$0,1 \text{ s}^{-1}$
$B_h$	$0,2 \text{ s}^{-1}$
<b>Hệ số linh động theo trục x và z</b>	
$\mu_e$	$1,0.10^{-14} \text{ m}^2 \text{ V}^{-1}\text{s}^{-1}$
$\mu_h$	$2,0.10^{-13} \text{ m}^2 \text{ V}^{-1}\text{s}^{-1}$
<b>Mật độ bẫy sâu</b>	
$N_{0et}$	$100 \text{ C m}^{-3}$
$N_{0ht}$	$100 \text{ C m}^{-3}$
<b>Hàng rào năng lượng cho sự phun điện tích theo Schottky</b>	
$w_e$	$1.27 \text{ eV}$
$w_h$	$1.16 \text{ eV}$
<b>Hàng rào năng lượng giải bẫy</b>	
$w_{tre}$	$0.96 \text{ eV}$
$w_{trh}$	$0.99 \text{ eV}$

Mô phỏng đầu tiên được thực hiện trên điện môi có bề mặt nhẵn lý tưởng để lấy kết quả tham chiếu cho các trường hợp mà bề mặt điện môi có các khuyết điểm/cụm khuyết điểm. Hình 2 giới thiệu phân bố điện tích trong điện môi sau 30 phút áp dụng điện áp.



Hình 2: Phân bố điện tích trong điện môi trong trường hợp bề mặt điện môi nhẵn lý tưởng sau 30 phút áp dụng điện áp.

Các điện tích dương và âm đã được phun vào điện môi tương ứng từ anode và cathode. Tuy nhiên lượng điện tích dương được phun vào nhiều hơn lượng điện tích âm. Điều này cũng được quan sát thấy trong các kết quả thực nghiệm và mô phỏng đối với vật liệu LDPE [8]. Các điện tích không gian sau khi xâm nhập điện môi sẽ làm thay đổi điện trường đặt ban đầu. Biểu đồ về phân bố điện trường theo chiều dày điện môi được trình bày trong hình 3.



**Hình 3: Cường độ điện trường theo độ dày điện môi trong trường hợp bề mặt điện môi nhẵn lý tưởng.**

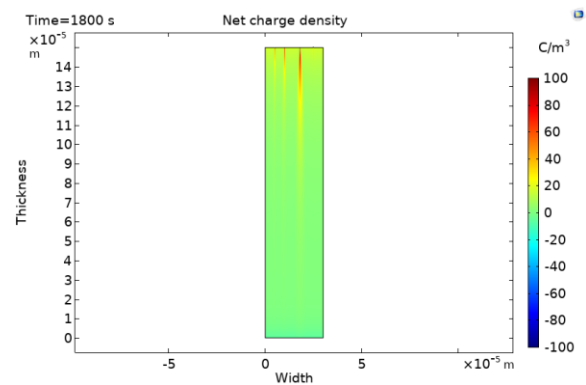
Với mức điện trường trung bình là 40kV/mm, điện trường tại khu vực gần anode nhỏ hơn nhiều và điện trường tại khu vực gần cathode lớn hơn so với giá trị trung bình. Điện áp tác dụng lên điện môi càng lâu thì sự thay đổi này càng rõ ràng. Theo thời gian, điện trường cực đại tại khu vực gần cathode có xu hướng dịch chuyển vào giữa điện môi.

### ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC KHUYẾT ĐIỂM RIÊNG BIỆT ĐẾN PHÂN BỐ ĐIỆN TÍCH

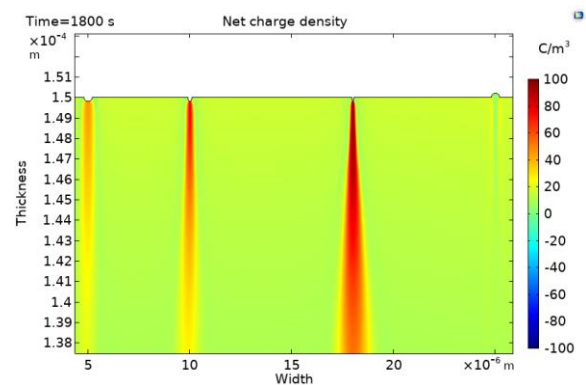
#### Ảnh hưởng của hình thù khuyết điểm

Trong các mô phỏng này, chúng tôi mô phỏng các khuyết điểm có hình thù khác nhau thường xuất hiện trên bề mặt vật liệu là các khuyết điểm lõm và lõm, trong đó mô phỏng đại diện các khuyết điểm lõm có dạng hình cầu và hình mũi nhọn, tương trưng cho các khuyết điểm lỗ “tù” và lỗ “hẹp”. Để tiết kiệm số lần mô phỏng, các khuyết điểm được bố trí trên cùng một bề mặt điện môi, và ở vị trí cách xa nhau để đảm bảo chúng không ảnh hưởng lẫn nhau trong sự phun điện tích ở điện cực. Hình 4 giới thiệu kết quả mô phỏng về phân bố điện tích không gian sau 30 phút áp dụng điện áp khi bề mặt điện môi xuất hiện các khuyết điểm lõm dạng hình cầu, hình mũi nhọn tù và hẹp và một khuyết điểm lõm hình cầu ở phía điện cực anode với điện trường ngoài là 40kV/mm. Các khuyết điểm này đều có kích thước là 200nm. Để hiểu rõ hơn sự biến thiên của mật độ điện tích theo thời gian và theo chiều rộng của điện môi (nhìn thấy tác động của tất cả các khuyết điểm), một đường cắt được thực hiện trên độ dày điện môi ở vị trí sâu 1µm tính từ bề mặt anode. Kết quả thu được được giới thiệu trên hình 5. Đối với vật liệu LDPE, sự phun điện tích dương từ anode vào điện môi diễn ra ngay khi bắt đầu đặt một điện áp lên hai điện cực

[8]. Bản chất của điện tích được phun vào điện môi từ anode vẫn được giữ nguyên (là điện tích dương) mặc dù xuất hiện khuyết điểm trên bề mặt điện môi. Tuy nhiên cường độ và tốc độ điện tích được phun vào có sự thay đổi so với trường hợp điện môi có bề mặt nhẵn lý tưởng. Tại vị trí các khuyết điểm lõm, một cường độ điện tích lớn được phun vào (gấp từ 2 đến 10 lần) so với các vùng xung quanh và ảnh hưởng sâu từ 20 đến 100µm theo độ dày điện môi. Đối với tất cả khuyết điểm lõm, tốc độ phun điện tích đều nhanh hơn rất nhiều so với các vùng điện môi xung quanh. Điều ngược lại được quan sát thấy đối với tiếp điểm lồi.



a)

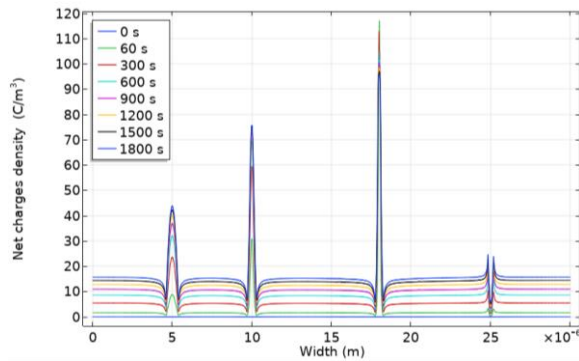


b)

**Hình 4: Phân bố điện tích trong điện môi trong trường hợp bề mặt điện môi có các khuyết điểm với hình thù khác sau 30 phút áp dụng điện áp: a) toàn bộ điện môi và b) phóng to khu vực gần các khuyết điểm.**

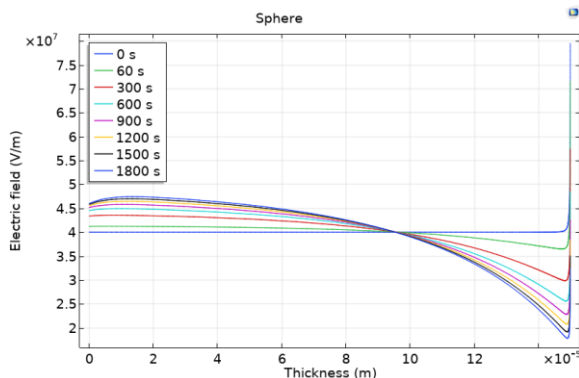
Cường độ và tốc độ phun điện tích giữa các loại khuyết điểm cũng có sự khác nhau rõ rệt. Tốc độ phun điện tích được sắp xếp theo thứ tự tăng dần là tại vị trí khuyết điểm hình cầu rồi đến vị trí khuyết điểm hình mũi nhọn tù và cuối cùng là vị trí khuyết điểm hình mũi nhọn hẹp. Như vậy ta có thể thấy hình thù của khuyết điểm ảnh hưởng lớn đến sự phun điện tích từ điện cực vào điện môi. Khuyết điểm càng nhọn càng thúc đẩy hiện

tượng phun điện tích và với một kích thước nhỏ của khuyết điểm nhưng lại có thể thúc đẩy mạnh mẽ quá trình phun điện tích.

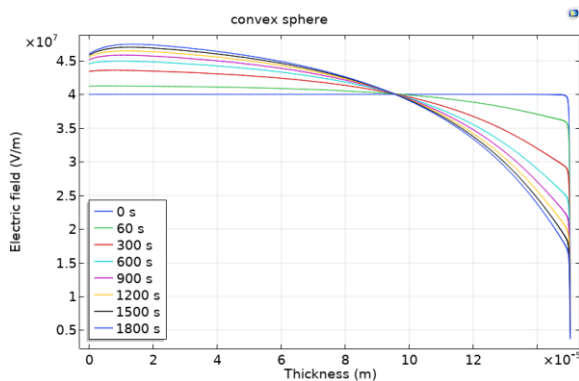


**Hình 5: Phân bố điện tích theo chiều rộng điện môi tại độ sâu 1µm tính từ anode trong trường hợp bề mặt điện môi có các khuyết điểm với hình thù khác nhau.**

Hình 6. mô phỏng phân bố điện trường tại các thời điểm khác nhau ở các vị trí khuyết điểm hình cầu lõm và hình cầu lồi đang xét.



a)



b)

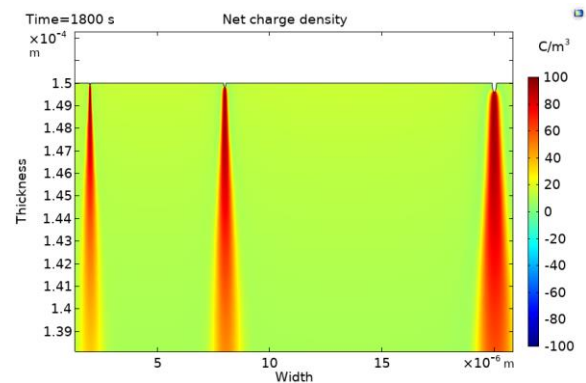
**Hình 6: Cường độ điện trường theo độ dày điện môi tại vị trí khuyết điểm a) cầu lõm và b) cầu lồi.**

Ta thấy cường độ điện trường ở các vị trí khuyết điểm khác nhau và so với trường hợp bề mặt lý

tượng (hình 3) có sự thay đổi rõ rệt, đặc biệt là ở sát bề mặt anode. Theo đó, cường độ điện trường tăng mạnh tại vùng sát bề mặt anode và giảm nhanh theo độ sâu của điện môi đối với trường hợp cầu lõm. Điều tương tự cũng được quan sát đối với các khuyết điểm mũi nhọn nhưng với biên độ lớn hơn. Đối với khuyết điểm cầu lồi, một sự biến thiên ngược lại được quan sát, cường độ điện trường giảm mạnh tại vùng sát anode. Đây chính là lý do mà chúng ta quan sát thấy sự thay đổi về quá trình phun điện tích như trong hình 4.

### Ảnh hưởng của kích thước khuyết điểm

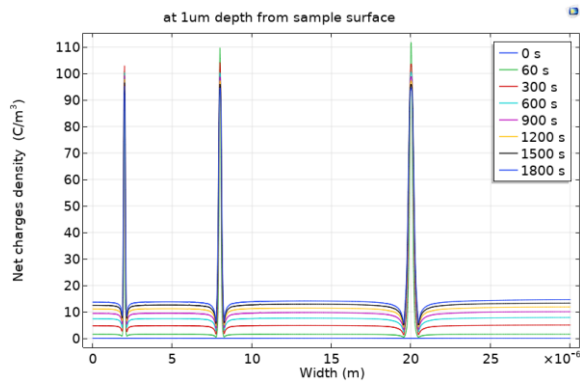
Trong phần này, chúng tôi thay đổi kích thước của các khuyết điểm mũi nhọn để xem xét ảnh hưởng của các khuyết điểm này đối với quá trình phun điện tích từ các điện cực vào bên trong thể tích điện môi. Các kích thước được chọn ở đây là 100, 200 và 400nm. Hình 7 giới thiệu biểu đồ phân bố mật độ điện tích không gian trong vật liệu LDPE sau 30 phút áp dụng điện áp trong trường hợp xuất hiện các khuyết điểm này.



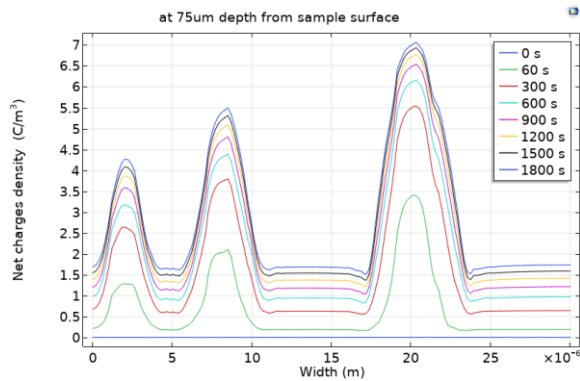
**Hình 7: Phân bố điện tích trong điện môi trong trường hợp bề mặt điện môi có các khuyết điểm với kích thước khác sau 30 phút áp dụng điện áp.**

Rõ ràng, khuyết điểm mũi nhọn có kích thước càng lớn thì mật độ điện tích dương được phun vào điện môi từ vị trí khuyết điểm đó càng lớn, cả về giá trị lẫn không gian chiếm giữ trong lòng điện môi. Để thấy rõ hơn tốc độ biến thiên của phân bố điện tích, các đường cắt được thực hiện ở độ sâu 1µm và 75µm của điện môi tính từ anode, tương ứng với vị trí đầu và cuối của khối điện tích lớn được phun vào dọc theo chiều dày điện môi (hình 8). Tốc độ phun điện tích ở vị trí sâu 1µm đối với các khuyết điểm là rất nhanh, gần như không có sự khác biệt sau 1 phút hay 30 phút áp dụng điện áp. Đối với vùng điện môi xung quanh các khuyết điểm, phân bố điện tích có sự tăng dần theo thời gian. Ở vị trí sâu 75µm,

tốc độ phun điện tích chậm hơn, mật độ điện tích được tăng dần theo thời gian đối với toàn bộ chiều rộng điện môi ở độ sâu này, và độ lớn về mật độ điện tích ở vùng tương ứng với các khuyết điểm cũng không cao hơn quá nhiều so với vùng xung quanh như với ở độ sâu 1 $\mu$ m.



a)



b)

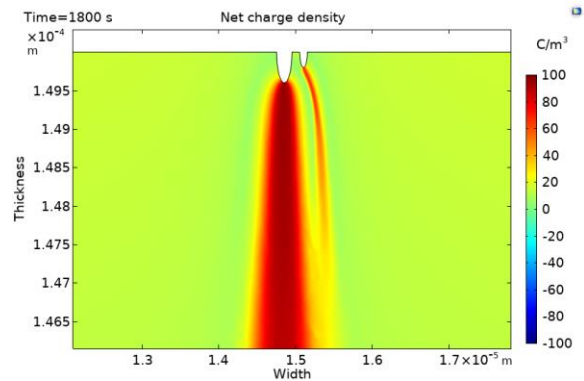
**Hình 8: Phân bố điện tích theo chiều rộng điện môi trong trường hợp bề mặt điện môi có các khuyết điểm với kích thước khác nhau tại độ sâu a) 1 $\mu$ m và b) 75 $\mu$ m tính từ anode.**

Các quan sát về phân bố điện tích trong trường hợp các khuyết điểm có kích thước khác nhau hoàn toàn phù hợp với suy luận về sự tăng đột biến của cường độ điện trường tại vị trí khuyết điểm, khi mà khuyết điểm có kích thước lớn làm cho độ dày điện môi giảm trong khi điện áp tác dụng vẫn giữ nguyên. Việc khuyết điểm có kích thước lớn còn giống như một cái “phễu” thu hút điện dương chảy qua nó.

### ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC CỤM KHUYẾT ĐIỂM ĐẾN PHÂN BỐ ĐIỆN TÍCH

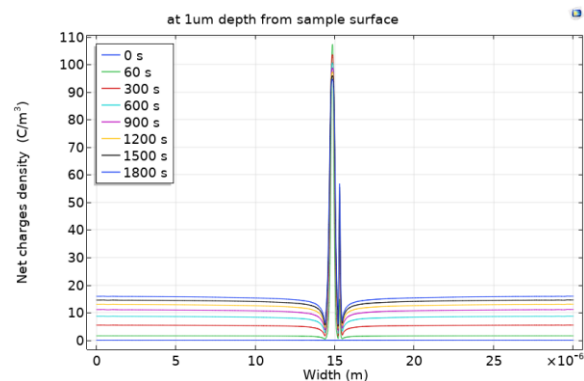
Trong các mô phỏng trên, một khuyết điểm xuất hiện trên bề mặt vật liệu tiếp xúc với anode gây ra một sự tăng cường lớn về phun điện tích so với các vùng xung quanh. Câu hỏi đặt ra là khi các khuyết điểm đó đặt gần nhau thì các khối

điện tích sẽ thay đổi vị trí như thế nào? Một mô phỏng về hai khuyết điểm hình mũi nhọn lớn (400nm) và bé (200nm) đặt gần nhau trên bề mặt vật liệu được giới thiệu trên hình 9.

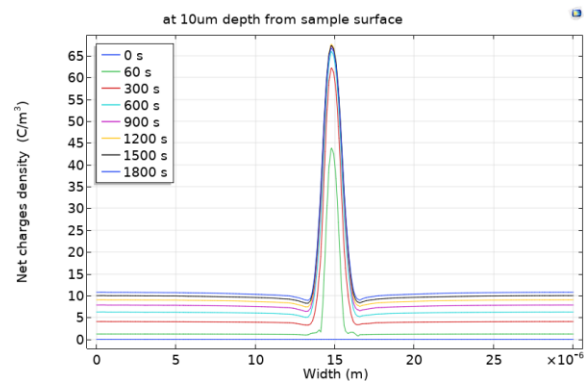


**Hình 9: Phân bố điện tích trong điện môi trong trường hợp bề mặt điện môi có cụm khuyết điểm lớn-nhỏ sau 30 phút áp dụng điện áp.**

Các đường cắt được thực hiện ở độ sâu 1 $\mu$ m và 10 $\mu$ m của điện môi tính từ anode, cho kết quả về phân bố điện tích theo chiều rộng điện môi trên hình 10.



a)

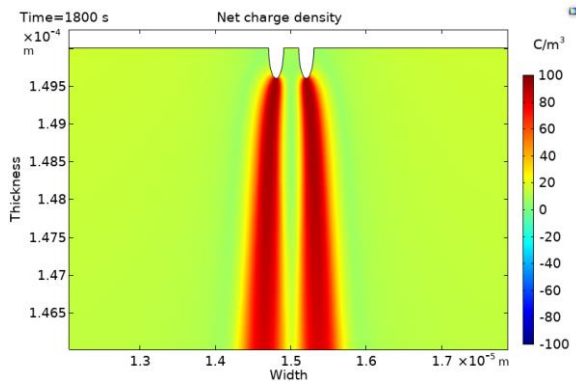


b)

**Hình 10: Phân bố điện tích theo chiều rộng điện môi trong trường hợp bề mặt điện môi có cụm khuyết điểm lớn-nhỏ tại độ sâu a) 1 $\mu$ m và b) 10 $\mu$ m tính từ anode.**

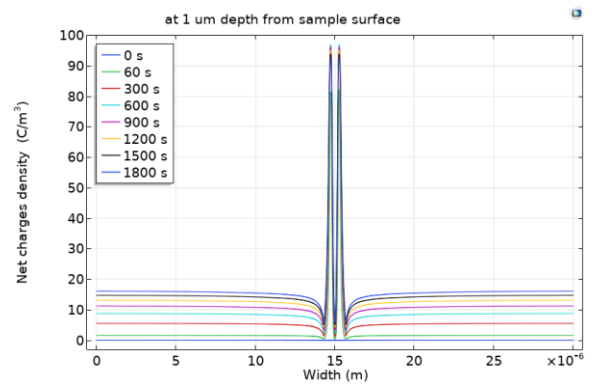
Khối điện tích lớn được phun vào qua vị trí khuyết điểm lớn đã lấn át khối điện tích từ vị trí khuyết điểm nhỏ, làm cho khối điện tích tại vị trí khuyết điểm nhỏ lệch sang bên đối lập với vị trí khuyết điểm lớn. Quan sát phân bố điện tích tại độ sâu 1 $\mu\text{m}$  và 10 $\mu\text{m}$  trên hình 10, chúng ta thấy hai khối điện tích từ vị trí khuyết điểm lớn và bé chỉ còn tách biệt nhau tại độ sâu 1 $\mu\text{m}$  và hợp lại làm một khối điện tích chung tại độ sâu 10 $\mu\text{m}$ . Tốc độ phun điện tích ở hai độ sâu này cũng có sự khác nhau. Bao quanh phần điện tích dương là các điện tích có giá trị nhỏ hơn cả các điện tích ở các phần khác của vật liệu có cùng độ sâu. Như vậy khi các khuyết điểm đặt cạnh nhau sẽ tạo ra các vùng điện tích khác biệt đan xen.

Trường hợp thứ hai được xét đến là hai khuyết điểm mũi nhọn có kích thước bằng nhau (400nm) đặt gần nhau trên bề mặt điện môi. Phân bố điện tích trong điện môi theo chiều rộng và độ dày được giới thiệu trên hình 11, trong khi đó phân bố điện tích theo chiều rộng tại các vị trí sâu 1 $\mu\text{m}$  và 10 $\mu\text{m}$  tính từ anode được giới thiệu trên hình 12.

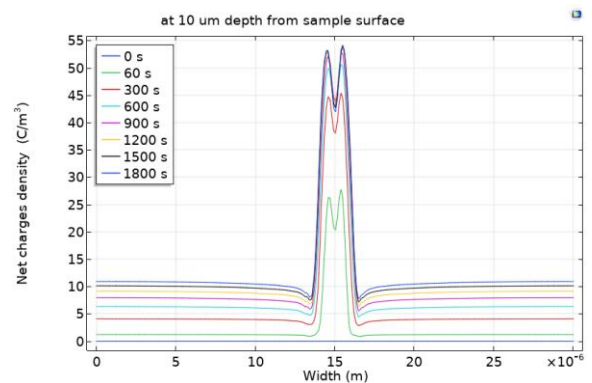


**Hình 11: Phân bố điện tích trong điện môi trong trường hợp bề mặt điện môi có cụm khuyết điểm bằng nhau sau 30 phút áp dụng điện áp.**

Các khối điện tích được phun rất nhanh vào điện môi từ hai khuyết điểm ở độ sâu 1 $\mu\text{m}$  và có tốc độ phun chậm hơn ở độ sâu 10 $\mu\text{m}$ . Trong trường hợp này, hai khối điện tích do tác động lẫn nhau nên bị lệch ra hai phía xung quanh. Bao quanh hai khối điện tích có mật độ lớn này là vùng có mật độ điện tích gần như trung hòa, các vùng khác không chịu ảnh hưởng của các khuyết điểm có mật độ điện tích dương giống như trường hợp điện môi có bề mặt nhẵn lý tưởng. Ở độ sâu 10 $\mu\text{m}$  tính từ anode, hai khối điện tích lớn đã bị trộn vào nhau một phần nhưng vẫn còn giữ được sự phân biệt.



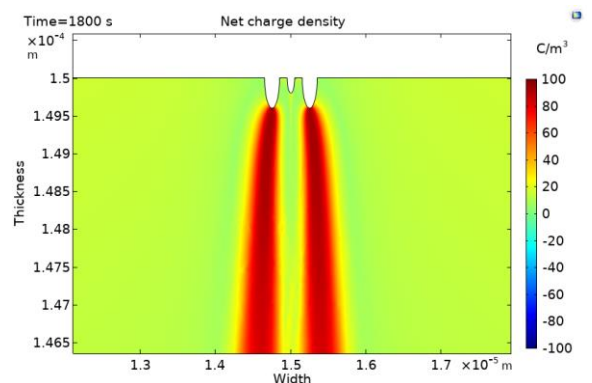
a)



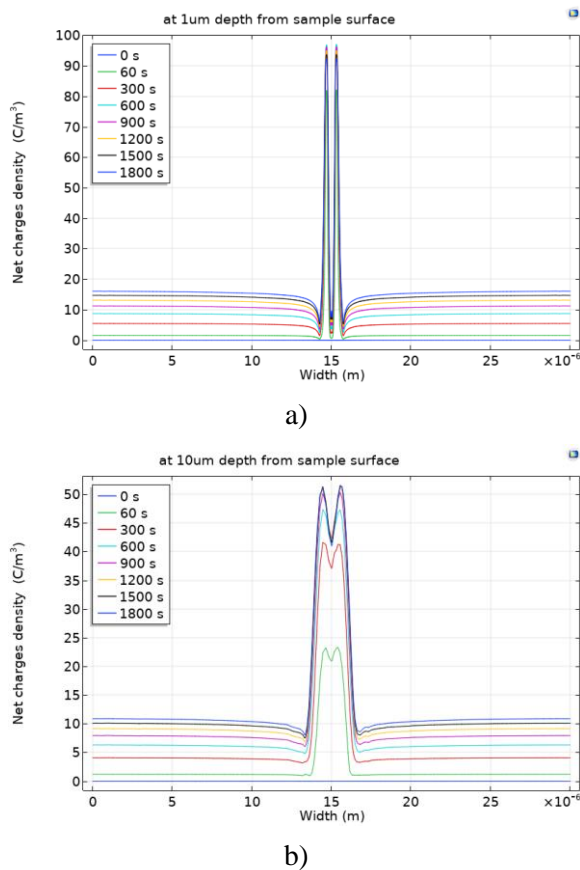
b)

**Hình 12: Phân bố điện tích theo chiều rộng điện môi trong trường hợp bề mặt điện môi có cụm khuyết điểm bằng nhau tại độ sâu a) 1 $\mu\text{m}$  và b) 10 $\mu\text{m}$  tính từ anode.**

Trường hợp thứ ba là cụm ba khuyết điểm gần nhau xuất hiện trên bề mặt điện môi, trong đó có hai khuyết điểm lớn (400nm) và một khuyết điểm nhỏ (200nm) đặt chính giữa hai khuyết điểm lớn. Hình 13 và 14 giới thiệu phân bố điện tích không gian trong điện môi trong trường hợp này.



**Hình 13: Phân bố điện tích trong điện môi trong trường hợp bề mặt điện môi có cụm khuyết điểm lớn-nhỏ-lớn sau 30 phút áp dụng điện áp.**



**Hình 14: Phân bố điện tích theo chiều rộng điện môi trong trường hợp bề mặt điện môi có cụm khuyết điểm lớn-nhỏ-lớn tại độ sâu a) 1μm và b) 10μm tính từ anode.**

Trong trường hợp này, hai khối điện tích lớn ở hai bên đã lấn át hoàn toàn khối điện tích bé ở giữa, chúng ta không quan sát thấy khối điện tích bé ngay cả khi ở độ sâu 1μm trong điện môi tính từ anode. Các quan sát còn lại giống như trường hợp hai khuyết điểm có độ lớn bằng nhau đặt cạnh nhau trên bề mặt điện môi.

### KẾT LUẬN

Nghiên cứu về ảnh hưởng của các khuyết điểm trên bề mặt điện môi polymer đối với sự phun điện tích từ điện cực kim loại vào bên trong điện môi được thực hiện với sự giúp đỡ của mô hình vận chuyển điện tích 2D Comsol Multiphysics® theo phương pháp phần tử hữu hạn. Đây là điều không thực hiện được trước đó với các mô hình vận chuyển điện tích 1D. Các mô phỏng chỉ ra rằng các khuyết điểm lõm có kích thước và độ nhọn càng lớn thì càng thúc đẩy quá trình phun điện tích vào điện môi khi đặt trong điện trường, trong khi các khuyết điểm lồi lại kìm hãm quá trình phun điện tích này. Sự xuất hiện cùng nhau của các khuyết điểm cũng làm thay đổi phân bố

điện tích bên trong khối điện môi so với trường hợp chỉ có các khuyết điểm đơn lẻ. Các nghiên cứu về tác động của khuyết điểm bề mặt với sự phun điện tích có thể được phát triển để lý giải cho nhiều hiện tượng được quan sát thấy bên trong vật liệu polymer. Việc mô hình hóa toàn bộ bề mặt điện môi nhám cũng là một nghiên cứu có thể được phát triển trong tương lai gần.

### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 103.02-2019.33.

### Tài liệu tham khảo

1. J.C. Fothergill, G.C. Montanari, G.C. Stevens and C. Laurent, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 10, 3, pp.514-527 (2003).
2. U. Riechert, J. Kindersberger and J. Speck, Eleventh International Symposium on High Voltage Engineering, 4, pp.216-219 (1999).
3. A. M. Mahdy, H. I. Anis and S. A. Ward, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 5, 4, pp. 612-618 (1998).
4. S. V. Novikov, Macromol. Symp., Electronic phenomena in organic solids, 212, pp.191-200 (2004).
5. S. Sato and K. Koyama, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 10, pp. 576-582 (2003).
6. A. Lherbier, M. P. Persson, Y. M. Niquet, F. Triozon and S. Roche, Physical Review. B, 77, pp. 085301 (2008).
7. M. Taleb, G. Teyssedre, S. Le Roy and C. Laurent, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 20, 1, pp.311 – 320 (2013).
8. S. Le Roy, G. Teyssedre, C. Laurent, G.C. Montanari and F. Palmieri, Journal of Physics D: Applied Physics, 39, pp. 1427-1436 (2006).
9. M-Q. Hoang, M-Q. Nguyen, TTN. Vu, G. Teyssèdre and S. Le Roy, Journal of Physics D: Applied Physics, 54, pp. 305303 (2021).