

**TIÊU CHUẨN
QUỐC TẾ**

**IEC
93**

XUẤT BẢN LẦN THỨ NHẤT
1980

**Các phương pháp
thí nghiệm điện trở suất khối
và bề mặt của các vật liệu
cách điện dẫn**

QUANPHAM.VN

MỤC LỤC

Lời nói đầu

Lời tựa

<i>1. Phạm vi áp dụng :</i>	<i>4</i>
<i>2. Các định nghĩa :</i>	<i>4</i>
<i>3. ý nghĩa :</i>	<i>5</i>
<i>4. Nguồn cung cấp</i>	<i>6</i>
<i>5. Các phương pháp đo lường và độ chính xác</i>	<i>6</i>
<i>6. Vật mẫu thí nghiệm :</i>	<i>8</i>
<i>7. Vật liệu làm điện cực</i>	<i>9</i>
<i>8. Tiếp xúc và lắp đặt vật mẫu</i>	<i>11</i>
<i>9. Việc điều hòa nhiệt độ</i>	<i>11</i>
<i>10. Phương pháp thí nghiệm</i>	<i>12</i>
<i>11. Tính toán</i>	<i>13</i>
<i>12. Báo cáo</i>	<i>14</i>

ỦY BAN KỸ THUẬT ĐIỆN QUỐC TẾ

**PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM ĐIỆN TRỞ SUẤT KHỐI
VÀ ĐIỆN TRỞ SUẤT BỀ MẶT CỦA VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN RẮN**

LỜI NÓI ĐẦU

1- Các quyết định hoặc thỏa thuận của IEC về các vấn đề kỹ thuật được soạn thảo bởi các ủy ban kỹ thuật trong đó có đại diện của ủy ban Quốc gia đang có quan tâm về các vấn đề này, thể hiện sự nhất trí quốc tế cao về các chủ đề đã được đề cập

2- Các quyết định hoặc thỏa thuận này là những khuyến khích để sử dụng quốc tế và đã được các ủy ban Quốc gia chấp nhận theo ý nghĩa đó.

3- Để xúc tiến sự thống nhất quốc tế, IEC bày tỏ mong muốn tất cả các ủy ban Quốc gia nên chấp nhận khuyến nghị của IEC như là các quy định quốc gia của mình trong chừng mực các điều kiện quốc gia cho phép. Bất kỳ một sự khác biệt nào giữa khuyến nghị của IEC và quy định quốc gia tương ứng, cần được nêu rõ trong chừng mực cho phép trong các quy định này

LỜI TỰA

Tiêu chuẩn này đã được soạn thảo bởi Tiểu ban 15A : Các thí nghiệm ngắn hạn, của Ủy ban Kỹ thuật N°15 của IEC : Các vật liệu cách điện

Đây là lần xuất bản thứ hai của Tài liệu 93 của IEC

Bản dự thảo đầu tiên đã được thảo luận tại cuộc họp tổ chức tại Toronto năm 1976. Tiếp theo cuộc họp này, bản dự thảo, Tài liệu 15A (Văn phòng trung ương) 35, đã được đệ trình tới các Ủy ban Quốc gia để chuẩn y theo luật Sáu tháng vào tháng 11-1977.

Các sửa đổi, tài liệu 15A (Văn phòng trung ương) 39, đã được đệ trình tới các Ủy ban Quốc gia để chuẩn y theo biện pháp Hai tháng vào tháng 10-1979

Các Ủy ban Quốc gia của những nước sau đây đã tán thành bằng văn bản

Áo	Ý
Bỉ	Nam hàn
Braxin	Tân Tây lan
Canada	Ba lan
Trung Quốc	Tây ban Nha
Tiệp khắc	Thụy điển
Đan mạch	Thụy sĩ
Ai cập	Vương quốc Anh
Pháp	Hoa kỳ
Đức	Nam tư
Ai len	

Các tài liệu khác của IEC đã được đưa vào bản tiêu chuẩn này

Ấn phẩm N°167 : Phương pháp thí nghiệm để xác định điện trở cách điện của các vật liệu cách điện rắn.

212 : Các điều kiện tiêu chuẩn để sử dụng trước và trong khi thí nghiệm các vật liệu cách điện rắn.

260 : Khu vực kín để thí nghiệm độ ẩm tương đối đều mà không có phun hơi nước.

PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM ĐIỆN TRỞ SUẤT KHỐI VÀ ĐIỆN TRỞ SUẤT BỀ MẶT CỦA CÁC VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN RẮN

1. Phạm vi áp dụng :

Các phương pháp thí nghiệm này định ra các biện pháp để đo lường các điện trở khối và điện trở bề mặt cũng như việc tính toán điện trở khối và điện trở suất bề mặt của các vật liệu cách điện rắn.

Cả hai thử nghiệm điện trở khối và điện trở bề mặt đều bị ảnh hưởng bởi các yếu tố sau : trị số và thời gian áp đặt điện áp, bản chất và kích thước các điện cực, và nhiệt độ và độ ẩm của khí quyển xung quanh và của vật mẫu trong khi đo lường và trong điều kiện môi trường Các hướng dẫn được soạn thảo cho các yếu tố đó.

2. Các định nghĩa :

2.1- Điện trở khối

Thương của điện áp một chiều đặt vào giữa hai điện cực, áp vào hai mặt đối diện của vật mẫu, với dòng điện ổn định giữa hai cực, không kể dòng điện dọc theo bề mặt và không kể đến hiện tượng phân cực ở các điện cực.

Ghi chú : Trừ những chỉ định khác, điện trở khối được xác định sau một thời gian đặt điện áp vào là 1 min

2.2- Điện trở suất khối (Điện trở suất thể tích)

Thương của cường độ điện trường một chiều với mật độ dòng điện ổn định trong một vật liệu cách điện. Thực tế đó là điện trở khối của một đơn vị thể tích.

Ghi chú : Đơn vị theo hệ SI của điện trở suất khối là ohm - mét. Trong thực tế còn dùng đơn vị ohm - centimét.

2.3- Điện trở bề mặt

Thương của điện áp một chiều đặt vào giữa hai điện cực, áp vào một mặt của một vật mẫu, với dòng điện giữa hai điện cực sau một thời gian đã cho của điện áp đặt vào, không kể đến hiện tượng phân cực trên các điện cực.

Ghi chú : 1- Trừ những chỉ định khác, điện trở bề mặt được xác định sau khi đặt điện áp vào một thời gian 1min

2- Thông thường dòng điện chủ yếu qua lớp bề mặt của vật mẫu cũng như qua các chỗ ẩm và chỗ bẩn bề mặt, nhưng nó cũng gồm một thành phần qua bên trong vật mẫu

2.4- Điện trở suất bề mặt

Thương của cường độ điện trường một chiều với mật độ dòng điện tuyến tính trong một lớp bề mặt của vật liệu cách điện. Thực tế, điện trở suất bề mặt là điện trở bề mặt của một diện tích vuông. Kích thước diện tích vuông là tùy ý.

Ghi chú : Đơn vị theo hệ SI của điện trở suất bề mặt là ohm. Trong thực tế, đôi khi nó được biểu thị bằng "ohm trên vuông".

2.5- Các điện cực

Các điện cực dùng trong đo lường là những thanh dẫn đã được xác định về hình dạng, kích thước, kiểu để tiếp xúc với vật mẫu khi đo lường.

Ghi chú tổng quát : Điện trở cách điện là thương của điện áp một chiều đặt vào giữa hai điện cực tiếp xúc với vật mẫu và dòng điện tổng qua các điện cực. Điện trở cách điện phụ thuộc vào cả điện trở suất khối và điện trở suất bề mặt của vật mẫu (xem Tài liệu 167 của IEC : Phương pháp thí nghiệm để xác định điện trở cách điện của vật liệu cách điện rắn).

3. Ý nghĩa :

3.1- Thông thường người ta sử dụng các vật liệu cách điện để cách ly những phần tử của hệ thống điện với nhau và với đất, vật liệu cách điện rắn còn có thể làm giá đỡ về mặt cơ học. Vì vậy, người ta mong muốn vật liệu cách điện có điện trở càng cao càng tốt, và những đặc tính về cơ học, hóa học và nhiệt có thể chấp nhận được. Điện trở bề mặt biến đổi rất nhanh theo độ ẩm trong khi điện trở khối chỉ biến đổi chậm, dù cho độ ẩm thay đổi nhiều.

3.2- Điện trở suất khối có thể được dùng hỗ trợ trong việc chọn lựa vật liệu cách điện cho việc sử dụng đặc biệt. Sự thay đổi của điện trở suất theo nhiệt độ và độ ẩm có thể là rất quan trọng và phải được biết trong khi dự kiến các điều kiện vận hành. Việc đo lường điện trở suất khối thường được tiến hành để kiểm tra tình đồng nhất của vật liệu cách điện, nó liên quan tới việc chế tạo cũng như phát hiện ra những tạp chất dẫn điện làm ảnh hưởng tới chất lượng của vật liệu mà không dễ dàng gì phát hiện ra bởi các biện pháp khác.

3.3- Khi một điện áp một chiều đặt vào giữa hai điện cực áp chặt vào vật mẫu, dòng điện qua vật mẫu giảm dần và tiệm cận tới một trị số ổn định. Việc dòng điện giảm theo thời gian có thể gây nên sự phân cực chất điện môi và sự chuyển dịch của các ion chuyển động tới các điện cực. Đối với các vật liệu có điện trở suất khối nhỏ hơn 10^{10} Ωcm (10^{12} Ωcm), trạng thái ổn định bình thường khoảng 1 min, và điện trở sẽ được đo sau thời gian đó điện áp được đặt vào. Đối với các vật liệu có điện trở suất khối cao hơn, dòng điện có thể tiếp tục giảm trong nhiều phút, nhiều ngày cũng như nhiều tuần. Vì vậy,

đối với các vật liệu đó, người ta đặt điện áp vào thời gian lâu hơn, và vật liệu được đặc trưng bởi điện trở suất khối biến thiên theo thời gian.

3.4- Điện trở bề mặt hay điện dẫn bề mặt không thể đo một cách chính xác được, mà chỉ tương đối, vì điện dẫn bề mặt ngoài lớn hơn hay nhỏ hơn luôn bị ảnh hưởng bởi cách đo. Trị số đo được biểu thị chủ yếu ở độ bền của bề mặt của vật mẫu trong thời gian đo. Tuy nhiên, hằng số điện môi của vật mẫu ảnh hưởng tới sự lắng đọng tạp chất và đặc tính điện dẫn bị ảnh hưởng bởi tính chất bề mặt của vật mẫu. Vì vậy, điện trở suất bề mặt không phải là tính chất của vật liệu theo nghĩa thông thường, nhưng có thể coi như có liên quan tới tính chất của vật liệu khi tính tới độ nhiễm bẩn.

Một số vật liệu, như cách điện lớp, có thể có những điện trở suất rất khác nhau trong một lớp bề mặt hay ở bên trong. Vì vậy cần phải đo tính chất thực của một bề mặt sạch sẽ. Các biện pháp làm sạch để có những kết quả đồng nhất cần phải được quy định rõ ràng, luôn nhớ là hiệu quả của các dung môi và các yếu tố khác của biện pháp làm sạch có thể có những đặc tính của bề mặt.

Điện trở bề mặt, đặc biệt khi trị số cao, thường biến đổi không đều và thường phụ thuộc nhiều vào thời gian đưa điện áp vào, đối với việc đo lường, người ta thường quy định thời gian đặt điện áp vào là 1 min.

4. Nguồn cung cấp

Cần thiết phải có một nguồn điện áp một chiều rất ổn định. Điều kiện này đặt ra là phải dùng nguồn ắc quy hoặc nguồn điện chỉnh lưu và được ổn áp. Độ ổn áp yêu cầu là không có bất kỳ một thay đổi điện áp nào để làm ảnh hưởng tới dòng điện được đo.

Những điện áp thí nghiệm thường là 100V, 250V, 500V, 1000V, 2500V, 5000V, 10000V, và 15000V. Những điện áp thường dùng nhất là 100V, 500V và 1000V.

Trong một số trường hợp, điện trở của vật mẫu phụ thuộc vào cực tính của điện áp đặt vào.

Nếu điện thế phụ thuộc vào cực tính, thì phải đánh dấu. Trị số trung bình hình học (trung bình số học của các số mũ logarit) của hai giá trị điện trở được lấy coi như là kết quả.

Khi điện trở vật mẫu có thể phụ thuộc vào điện áp, thì cần phải ghi điện áp thí nghiệm vào báo cáo.

5. Các phương pháp đo lường và độ chính xác

5.1- Các phương pháp

Các phương pháp thường dùng hiện nay để đo điện trở cao thì hoặc dùng phương pháp trực tiếp hoặc dùng phương pháp so sánh.

Phương pháp so sánh trực tiếp dựa trên việc đo đồng thời điện áp một chiều đặt vào điện trở chưa biết và dòng điện qua nó (phương pháp Vôn-Ampe)

Phương pháp so sánh xây dựng một tỷ lệ giữa điện trở chưa biết với một điện trở biết rồi, hoặc bằng một mạch cầu, hoặc bằng sự so sánh các dòng điện qua các điện trở đặt dưới một điện áp cố định.

Những thí dụ minh họa những nguyên lý này được mô tả trong phụ lục A

Phương pháp Von-Ampe đòi hỏi một von kế khá chính xác, nhưng độ nhạy và độ chính xác chủ yếu phụ thuộc vào đặc tính của thiết bị đo dòng điện, mà có thể là một galvanô mét, một dụng cụ khuếch đại điện tử hay một đồng hồ điện tử.

Phương pháp cân đo chỉ đòi hỏi đồng hồ đo dòng điện nhạy loại chỉ thị không, độ chính xác chủ yếu được xác định bằng các điện trở đã biết tạo nên các vế cầu, mà chúng có độ chính xác và độ ổn định cao trong một giải trị rất rộng.

Độ chính xác của phương pháp so sánh dòng điện phụ thuộc vào độ chính xác của điện trở đã biết, vào độ ổn định và độ tuyến tính của cơ cấu đo dòng điện, kể cả các điện trở kết hợp để đo, v.v... trong khi các trị số chính xác của dòng điện không cần thiết cũng như điện áp ổn định.

Việc xác định điện trở suất khối theo tiêu mục 10.1 bằng phương pháp Von-Ampe có sử dụng galvanô mét là có thể được đối với những điện trở nhỏ hơn và tới $10^6 \Omega$. Đối với các trị số cao hơn, thì yêu cầu dùng máy khuếch đại một chiều hay đồng hồ điện tử.

Trong phương pháp cầu đo, không thể đo dòng điện trực tiếp trong vật mẫu bị ngắn mạch (xem tiêu mục 10-1).

Các phương pháp dùng các cơ cấu đo dòng điện cho phép tự ghi dòng điện làm dễ dàng trong việc xác định chế độ thường xuyên (tiêu mục 10-1).

Có những mạch và dụng cụ để đo điện trở cao. Chúng có thể được dùng với điều kiện chúng có đủ chính xác và đủ ổn định, và nếu cần thiết, có thể ngắn mạch vật mẫu và đo dòng điện trước khi đặt điện áp vào vật mẫu.

5.2- Độ chính xác

Dụng cụ đo phải xác định được điện trở chưa biết với độ chính xác chung là ít nhất $\pm 10\%$ đối với các điện trở nhỏ hơn $10^{10} \Omega$ và $\pm 20\%$ đối với các trị số cao hơn. (cũng xem phụ lục A).

5.3- Thiết bị bảo vệ

Cách điện của mạch đo lường gồm có các vật liệu, mà trong điều kiện thích hợp, có các đặc tính có thể so sánh được với đặc tính của vật liệu thí nghiệm. Các sai số trong việc đo lường vật mẫu có thể đến từ :

a). Các dòng điện dò gây nên bởi điện áp ký sinh mà người ta không biết về trị số và thường thường là có tính chất thất thường.

b). Việc chập mạch bất ngờ của điện trở vật mẫu, của điện trở tham khảo hay của cơ cấu đo dòng điện bởi các chất điện môi, có điện trở chưa biết hoặc không ổn định.

Người ta có thể xử lý các khó khăn trên bằng việc dùng điện trở cách điện của tất cả các bộ phận của mạch càng cao càng tốt theo những điều kiện sử dụng. Điều này có thể dẫn tới việc thực hiện lắp đặt khó khăn và dụng cụ còn không phù hợp để đo điện trở cách điện lớn hơn vài trăm megôm. Việc điều chỉnh hữu hiệu hơn là sử dụng kỹ thuật bảo vệ.

Thiết bị bảo vệ dựa vào việc đặt vào giữa các bộ phận cách điện tới hạn những dây dẫn bảo vệ mà chúng có thể chặn tất cả các dòng điện dò có thể gây ra sai số đo. Các dây dẫn bảo vệ được nối với nhau tạo thành thiết bị bảo vệ và hợp với các đầu cực đo lường thành một lưới có ba đầu cực. Khi việc đấu nối thực hiện phù hợp, các dòng điện dò gây nên bởi điện áp ngoài ký sinh thì được tách khỏi mạch đo lường bởi hệ thống bảo vệ, điện trở cách điện giữa một trong hai đầu cực đo lường và thiết bị bảo vệ thì nối rẽ vào một phân tử của mạch mà nó phải là một điện trở rất nhỏ, và điện trở của vật mẫu tạo thành một con đường trực tiếp giữa hai đầu cực đo lường. Kỹ thuật này làm giảm đáng kể sai số. Hình 1 trang 17, cho biết việc đấu nối cơ bản của các điện cực bảo vệ dùng để đo lường điện trở khối và điện trở bề mặt.

Việc sử dụng chính xác hệ thống bảo vệ trong phương pháp đo dòng điện được minh họa ở hình 5 và 7, trang 20 và 21, ở đó hệ thống bảo vệ được nối với điểm nối của nguồn điện áp và thiết bị đo dòng điện. Trong hình 6, trang 20, đối với phương pháp cầu đo Wheastone, hệ thống bảo vệ được nối vào điểm nối của hai vế cầu có điện trở thấp, trong tất cả các trường hợp, để có hiệu quả, việc bảo vệ cần phải đầy đủ và trải ra tất cả các bộ phận và được thao tác bởi nguồn quan sát trong suốt thời gian đo lường.

Các sức điện động (chất điện phân, tiếp xúc, hay nhiệt) tồn tại giữa hệ thống bảo vệ và các đầu cực "bảo vệ" cần phải được bù lại nếu chúng nhỏ. Cần chú ý rằng các sức điện động này không phải là nguyên nhân sai số trong khi đo lường.

Những sai số trong việc đo lường có thể do cơ cấu đo dòng điện được nối rẽ bởi một điện trở giữa đầu cực bảo vệ và hệ thống bảo vệ. Điện trở này phải là ít nhất 10 lần và tốt hơn là 100 lần lớn hơn điện trở của cơ cấu đo dòng. Trong một số phương pháp dùng cầu, đầu cực bảo vệ và đầu cực đo lường đều mang gân như thế hiệu như nhau, nhưng một điện trở chuẩn trong cầu lại được nối rẽ bởi một điện trở giữa đầu cực không bảo vệ và hệ thống bảo vệ. Điện trở này phải ít nhất là 10 lần và tốt hơn là 100 lần lớn hơn điện trở tham khảo.

Để đảm bảo hệ thống đo lường hoạt động tốt, cần thực hiện một thí nghiệm bằng cách tách nối dây của vật mẫu với nguồn điện. Với điều kiện này, đồng hồ phải chỉ điện trở vô cực (trong độ chính xác cho phép). Nếu đặt những điện trở mẫu có giá trị thích hợp, có thể kiểm tra sự hoạt động của hệ thống đo lường.

6. Vật mẫu thí nghiệm :

6.1- Điện trở suất khối

Đối với việc xác định điện trở suất khối, vật mẫu thí nghiệm có thể có hình dáng nào đó để có thể cho phép sử dụng một điện cực thứ ba để bảo vệ chống sai số do hiệu ứng bề mặt. Đối với các vật mẫu mà dòng điện bề mặt không đáng kể, có thể bỏ qua hệ thống bảo vệ khi đo điện trở khối, với điều kiện phải chứng tỏ rằng việc bỏ qua này ảnh hưởng rất nhỏ tới kết quả.

Khoảng cách trên bề mặt vật mẫu giữa các cực được bảo vệ và cực bảo vệ cần phải độ rộng đồng nhất và càng hẹp càng tốt, với điều kiện là dòng điện dò trên bề mặt không gây nên sai số trong lúc đo. Khoảng cách 1 mm thường là khoảng cách nhỏ nhất có thể được.

Các thí dụ về sắp xếp các điện cực đối với hệ thống có ba điện cực đều cho ở hình 2 và 3, trang 18 và 19. Trong việc đo điện trở khối, điện cực N°1 là điện cực được bảo vệ, N°2 là điện cực bảo vệ, và N°3 là điện cực không được bảo vệ. Đường kính d_1 (hình 2) hay chiều dài l_1 (hình 3) của điện cực được bảo vệ phải có ít nhất bằng 10 lần bề dày h của vật mẫu, và vì lý do thuận tiện, nó phải bằng ít nhất là 25 mm. Đường kính d_k (hay chiều dài l_k) của điện cực không được bảo vệ, và đường kính ngoài d_3 của điện cực bảo vệ (hay chiều dài l_3 giữa các bờ ngoài các điện cực bảo vệ) phải bằng đường kính trong d_2 của điện cực bảo vệ (hay chiều dài l_2 giữa các bờ trong của các điện cực bảo vệ) cộng với ít nhất hai lần bề dày vật mẫu.

6.2- Điện trở suất bề mặt

Đối với việc xác định điện trở suất bề mặt, vật mẫu có thể có hình dạng nào đó để cho phép sử dụng một điện cực thứ ba để chống sai số do hiệu ứng khối. Việc sắp xếp ba điện cực của hình 2 và 3 được đề nghị sử dụng. Điện trở của khoảng cách bề mặt giữa điện cực N°1 và 2 được đo trực tiếp bằng cách sử dụng điện cực N°1 như là điện cực được bảo vệ, điện cực N°3 như là điện cực bảo vệ và điện cực N°2 như là điện cực không được bảo vệ. Điện trở đo được gồm có điện trở bề mặt giữa các điện cực N°1 và 2 và điện trở khối giữa hai điện cực ấy. Tuy nhiên, nếu chọn thích hợp các kích thước của các điện cực, hiệu quả của điện trở khối có thể là không đáng kể đối với các giá trị rộng của điều kiện môi trường chung quanh và của các tính chất của vật liệu. Điều kiện này có thể được thực hiện với việc bố trí của hình 2 và 3 khi các điện cực có kích thước sao cho bề rộng khoảng cách bề mặt g ít nhất bằng hai lần bề dày của vật mẫu, 1 mm là khoảng cách nhỏ nhất có thể được. Đường kính d_1 (hay chiều dài l_1) của điện cực được bảo vệ phải bằng ít nhất là 10 lần bề dày h của vật mẫu, để thuận tiện, thường ít nhất là 25 mm.

Nói một cách khác, người ta có thể sử dụng các điện cực thẳng hay các bố trí khác để có những kích thước thích hợp.

Ghi chú : Do ảnh hưởng của dòng điện qua bên trong của vật mẫu thí nghiệm, trị số tính toán của điện trở suất bề mặt có thể phụ thuộc nhiều vào kích thước các điện cực. Đối với việc đo lường bằng cách sử dụng vật mẫu có dạng đồng nhất với việc bố trí các điện cực hình 2 với $d_1 = 50\text{mm}$, $d_2 = 60\text{mm}$ và $d_3 = 80\text{mm}$.

vật mẫu
sánh, để
cực

7. Vật liệu làm điện cực

7.1- Đại cương

Các điện cực dùng trên vật liệu cách điện phải là vật liệu dễ dàng áp vào mặt vật mẫu, tiếp xúc tốt với bề mặt vật mẫu, không làm bẩn vật mẫu và điện trở riêng của nó không gây nên sai số. Vật liệu làm điện cực phải chịu được ăn mòn mà trong những điều kiện thí nghiệm. Có thể dùng các vật liệu ghi dưới đây làm điện cực. Các điện cực phải có các tấm ép cực thích hợp với hình dáng và kích thước cho sẵn.

Có thể nên xử dụng hai vật liệu điện cực khác nhau hay hai phương pháp áp dụng để xem xem có sai số đáng kể nào sinh ra không.

7.2- Sơn bạc dẫn điện

Một vài loại sơn bạc, có độ dẫn điện cao, có sẵn trong thương trường và nó không được trong không khí hoặc ở nhiệt độ thấp, chúng có độ xốp đủ để thấm được hơi ẩm và do đó cho phép điều hòa được nhiệt độ vật mẫu thí nghiệm sau khi ép các điện cực. Đây là một tính chất đặc biệt hữu ích để nghiên cứu hiệu quả của độ ẩm cũng như nhiệt độ trên điện trở. Tuy nhiên, trước khi dùng sơn dẫn điện như là vật liệu làm điện cực, cần phải kiểm tra xem dung môi trong sơn có ảnh hưởng tới các tính chất về điện của vật mẫu không. Có thể có bề đều đặn trên điện cực bảo vệ nhờ bàn chải lông mịn. Tuy nhiên đối với các điện cực tròn, có thể có những bề rất mảnh bằng cách dùng một compa vẽ những vòng của những điện cực và phủ lên những vùng này nhờ một bát sơn. Có thể phải dùng những mặt nạ che nếu sơn điện cực bằng sơn xì.

7.3- Phun kim loại

Có thể dùng kim loại được phun làm điện cực nếu có độ bám đủ chắc vào vật mẫu thí nghiệm. Các điện cực được phun mỏng có thể có ưu điểm, thực tế chúng sẵn sàng được dùng ngay sau khi phun. Chúng có độ xốp đủ để cho phép vật mẫu được điều hòa nhiệt độ, nhưng cần phải kiểm tra lại. Những mặt nạ có thể được dùng để dành khoảng cách giữa điện cực được bảo vệ và điện cực bảo vệ.

7.4- Kim loại bốc hơi

Có thể dùng kim loại bốc hơi trong những điều kiện như đã chỉ ở tiểu mục 7.3 khi người ta chứng tỏ được vật liệu không bị ảnh hưởng bởi dội ion vào hay xử lý trong chân không.

7.5- Các điện cực lỏng

Các điện cực lỏng có thể được xử dụng và cho kết quả khả quan. Chất lỏng tạo nên các điện cực phía trên được giữ bởi những vòng bằng thép không rỉ mà mỗi vòng có bờ phía trong được vát góc ở phía cạnh ngoài chất lỏng. Hình 4, trang 19, cho biết sự bố trí các điện cực. Vì là chất độc, nên thủy ngân không được dùng lâu hay dùng ở nhiệt độ cao.

7.6- Graphit dán

Graphit dán tan trong nước hoặc trong chất lỏng phù hợp khác, có thể được xử dụng trong những điều kiện ghi trong tiểu mục 7.2

7.7- Cao su dẫn điện

Cao su dẫn điện có thể được dùng làm điện cực. Nó có ưu điểm là có thể áp vào hoặc gỡ ra khỏi vật mẫu nhanh và dễ. Là điện cực chỉ áp vào vật mẫu trong thời gian đo lường nên nó không làm cản trở việc điều hòa nhiệt độ của vật mẫu. Cao su dẫn điện phải đủ mềm để đảm bảo sự tiếp xúc có hiệu quả với vật mẫu khi có một áp suất hợp lý đặt vào, thí dụ 2kPa (0,2 N/cm²).

7.8- Lá kim loại

Lá kim loại có thể được dùng để áp vào bề mặt vật mẫu như là các điện cực để đo điện trở khối, nhưng lại không thích hợp cho đo điện trở khối, nhưng lại không thích hợp cho đo điện trở bề mặt. Thường người ta dùng chì, chì antimoan, nhôm và giấy thiếc. Thường thường người ta gắn chúng vào vật mẫu bằng một lượng rất nhỏ keo gắn được chế tạo bởi mỡ dầu hỏa hoặc mỡ silicone, dầu hay chất thích hợp. Chất keo có thể do viện được phẩm chuẩn bị vì có các thành phần sau được dùng như chất keo dẫn điện :

Polye'thylene glycol anhydre có

600 khối lượng phân tử

Nước

Xà phòng mềm (chất lượng được)

Chlorure de potassium

800 phần tử theo khối lượng

200 phần tử theo khối lượng

1 phần tử theo khối lượng

10 phần tử theo khối lượng

Các điện cực được áp vào vật mẫu dưới một áp suất đủ để tránh các nếp và để gắn tốt cho tới tận mép lá kim loại và lau sạch bằng một giẻ sạch. Dùng một vật mềm để miết thí dụ ngón tay là có hiệu quả. Kỹ thuật này có thể cho những kết quả tốt đối với các vật mẫu có bề mặt nhẵn. Với chú ý cẩn thận, màng keo có thể giảm tới 0,0025 mm hay hơn nữa

8. Tiếp xúc và lắp đặt vật mẫu

Một điều quan trọng là các dòng điện dò giữa các điện cực hay giữa điện cực đo lường với đất phải không được làm ảnh hưởng đáng kể tới việc đọc trị số của dụng cụ đo lường. Cần rất cẩn thận khi áp các điện cực, khi cầm các vật mẫu, và khi lắp các vật mẫu để đo lường để tránh tất cả khả năng có thể tạo ra dòng điện dò làm ảnh hưởng tới kết quả đo. Khi đo điện trở bề mặt, bề mặt không được lau sạch, trừ phi có sự thỏa thuận hay có sự quy định. Phần mặt phẳng để đo lường không được tiếp xúc với bất kỳ vật nào khác với mặt phẳng không được tiếp xúc của vật mẫu khác có cùng một vật liệu.

9. Việc điều hòa nhiệt độ

Việc điều hòa nhiệt độ cho một vật mẫu phụ thuộc vào vật liệu để thí nghiệm và phải được chỉ định rõ trong bảng đặc tính kỹ thuật của vật liệu

Những điều kiện yêu cầu được ghi trong Tài liệu 212 của IEC : Các điều kiện xử dụng chuẩn trước và trong khi thí nghiệm các vật liệu cách điện rắn, và độ ẩm tương đối có liên quan tới các dung dịch muối khác nhau được ghi trong Tài liệu 260 của IEC : Bao kín để thí nghiệm ở độ ẩm tương đối không đổi hoạt động không phun hơi nước, có thể xử dụng các biện pháp cơ học để làm bốc hơi

Điện trở suất khối và điện trở suất bề mặt cả hai đều rất nhạy cảm với sự thay đổi nhiệt độ. Sự thay đổi theo hàm số mũ. Vì vậy cần thiết đo điện trở khối và điện trở bề mặt của vật mẫu khi vật mẫu được đặt dưới những điều kiện quy định. Thời gian kéo dài của việc điều hòa là cần thiết để xác định ảnh hưởng của độ ẩm trên điện trở suất khối, vì sự hấp thụ nước vào vật thể cách điện là một quá trình tương đối chậm. Sự hấp thụ nước thường thường làm giảm điện trở khối. Một số vật mẫu có thể đòi hỏi hàng tháng mới cân bằng được.

10. Phương pháp thí nghiệm

Một số vật mẫu được quy định trong bảng đặc tính kỹ thuật sẽ được chuẩn bị phù hợp với các điều 6,7,8 và 9

Kích thước của vật mẫu và các điện cực cũng như bề rộng của khoảng cách bề mặt g được đo với độ chính xác $\pm 10\%$. Tuy nhiên, đối với vật mẫu mỏng, độ chính xác khác có thể được quy định trong bảng đặc tính kỹ thuật tương ứng đối với vật liệu để thí nghiệm.

Để xác định điện trở suất khối, người ta đo bề dày trung bình của mỗi vật mẫu phù hợp với bản đặc tính kỹ thuật. Các điểm đó được phân bố đồng nhất trên diện tích có chứa điện cực đo được bảo vệ.

Ghi chú : Đối với vật mẫu mỏng, phải đo bề dày trước khi đặt điện cực

Thông thường, việc đo điện trở phải được tiến hành ở cùng một độ ẩm (trừ việc điều hòa vì ngâm trong chất lỏng) và nhiệt độ như đã xử dụng trong khi điều hòa. Tuy nhiên, trong một số trường hợp, có thể đủ để tiến hành đo lường trong một thời gian quy định sau khi cất điều hòa.

10.1- Điện trở khối

Trước khi thực hiện phép đo, vật mẫu cần phải đưa vào một điều kiện ổn định về cách điện. Để có được điều đó, hãy chập mạch các điện cực đo N^o1 và N^o3 của vật mẫu (hình 1a) qua cơ cấu đo lường và quan sát những biến đổi của dòng điện, trong khi tăng độ nhạy của cơ cấu đo nếu thấy cần thiết. Tiếp tục cho tới khi dòng điện ngắn mạch đạt tới trị số không đổi, nhỏ hơn so với trị số ổn định dự kiến của dòng điện khi có điện áp, hay nếu có thể, nhỏ hơn dòng điện sau khi đóng điện áp vào 100 min. Nếu có thể, thay đổi chiều dòng điện ngắn mạch, việc ngắn mạch phải được duy trì ngay cả khi dòng điện bằng không. Biên độ và chiều dòng điện ngắn mạch I_o được ghi lại khi nó tới ổn định, điều này có thể yêu cầu nhiều giờ.

Sau đó đặt điện áp một chiều quy định vào và đồng thời cho đồng hồ chỉ thời gian vào làm việc. Loại trừ chỉ dẫn khác, tiến hành đo lường sau mỗi lần đặt điện áp vào thời gian : 1 min, 2 min, 5 min, 10 min, 50 min, 100 min. Nếu hai lần đo kế tiếp nhau cho cùng một kết quả, thí nghiệm có thể kết thúc và trị số tìm được sẽ dùng để tính toán điện trở khối. Thời gian đóng điện cho tới khi có việc đo giống nhau đầu tiên sẽ được ghi lại. nếu chế độ ổn định không quá 100 min, điện trở khối coi như là hàm số theo thời gian đóng điện.

Đối với những thí nghiệm nghiệm thu, trị số sau thời gian đóng điện ổn định, thí dụ 1 min, theo tài liệu tương ứng, là trị số xác định

10.2- Điện trở bề mặt

Đặt điện áp một chiều quy định vào, và xác định điện trở giữa các điện cực đo lường trên bề mặt vật mẫu (N^o1 và 2, hình 1b). Điện trở được xác định sau 1 min đóng điện, ngay cả lúc dòng điện chưa đạt tới trị số ổn định trong khoảng thời gian đó.

11. Tính toán

11.1- Điện trở suất khối

Điện trở suất được tính theo công thức sau :

$$... = R_x \cdot A / h$$

Trong đó :

- ρ : điện trở suất khối tính bằng ohm - mét (ohm-cm)
- R_x : điện trở khối tính bằng ohm đo theo tiêu mục 10.1
- A : diện tích hữu ích của điện cực được bảo vệ tính bằng m^2 (cm^2)
- h : bề dày trung bình của vật mẫu tính bằng m (cm)

Các công thức để tính diện tích hữu ích A đối với một số bố trí các điện cực được cho trong Phụ lục B

Đối với một số vật liệu có điện trở suất cao, dòng điện ngắn mạch I_0 trước khi đóng điện (xem Tiêu mục 10-1) có thể không bỏ qua được so với dòng điện ổn định I_s khi đóng điện. Trong trường hợp này, điện trở khối được xác định như sau :

$$R_x = U_x / (I_s \pm I_0)$$

trong đó :

- R_x : điện trở khối tính bằng nhau
- U_x : điện áp đặt vào tính bằng V
- I_s : dòng điện ổn định tính bằng A trong lúc đóng điện, hay là trị số dòng điện bằng A sau 1 min, 10 min và 100 min nếu dòng điện thay đổi khi đóng điện vào
- I_0 : dòng điện ngắn mạch bằng A trước lúc đóng điện

Dấu trừ được dùng khi I_0 cùng chiều với I_s , ngược lại thì dùng dấu cộng

11.2- Điện trở suất bề mặt

Điện trở suất bề mặt được tính theo công thức sau :

$$\dagger = R_x \cdot p / g$$

trong đó :

- σ : điện trở suất bề mặt tính bằng ohm
- R_x : điện trở bề mặt tính bằng ohm được đo theo Tiêu mục 10.2
- p : chu vi tính bằng m (cm) của điện cực được bảo vệ phụ thuộc vào sự sắp xếp các điện cực
- g : khoảng cách tính bằng m (cm) giữa các điện cực

11.3- Khả năng tái tạo :

Vì rằng có sự thay đổi của điện trở của một vật mẫu đã cho với những điều kiện thí nghiệm, và vì rằng tính không đồng nhất của vật liệu từ vật mẫu này sang vật mẫu

kia, các việc xác định thường không được tái tạo như cũ mà sai kém tới $\pm 10\%$ và thường phân tán rất rộng (một dãy các trị số từ 10 đến 1 có thể nhận được theo những điều kiện gần như đồng nhất)

Để việc đo lường trên các vật mẫu giống nhau có thể so sánh với nhau được, cần phải thực hiện với các gradient điện áp như nhau

12. Báo cáo

Bản báo cáo phải bao gồm ít nhất các thông tin sau :

- a. Mô tả và xác định vật liệu (tên, cấp, mẫu, nhà chế tạo v.v...)
- b. Hình dáng và kích thước vật mẫu
- c. Loại, vật liệu và kích thước các điện cực và các bảo vệ
- d. Điều hòa của vật mẫu (làm sạch, sấy trước, thời gian điều hòa, độ ẩm và nhiệt độ v.v...)
- e. Các điều kiện thí nghiệm (nhiệt độ vật mẫu, độ ẩm tương đối)
- f. Phương pháp đo lường
- g. Điện áp đặt vào
- h. Điện trở suất khối (nếu áp dụng)

Ghi chú :

1- Khi thời gian đặt điện áp cố định được xác định, ghi thời gian này, xác định các kết quả riêng rẽ, và báo cáo trị số chính như là điện trở khối

2- Khi các việc đo được tiến hành sau nhiều lần đóng điện khác nhau, thì báo cáo như sau :

Khi vật mẫu đạt tới tình trạng ổn định trong một thời gian đóng điện như nhau, xác định các kết quả riêng rẽ và báo cáo trị số chính như là điện trở suất khối . Khi một số vật mẫu không đạt tới trạng thái ổn định trong thời gian đặt điện áp đó, xác định số lần đo và ghi riêng rẽ các kết quả thu được trên các vật mẫu ấy. Khi các kết quả là hàm số của thời gian đặt điện áp, xác định các biến đổi, thí dụ dưới dạng một biểu đồ hay xác định trị số chính của điện trở suất khối sau 1 min, 10 min và 100 min

- i. Điện trở suất bề mặt (nếu áp dụng) :

Cho những trị số riêng rẽ sau 1 min đóng điện vào, và báo cáo trị số chính như là điện trở suất bề mặt

PHỤ LỤC A

NHỮNG THÍ DỤ VỀ PHƯƠNG PHÁP ĐO LƯỜNG
VÀ ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA CHÚNG**A1. Phương pháp Von-Ampe**

Phương pháp trực tiếp này sử dụng một mạch điện được minh họa ở hình 5, trang 20. Điện áp đặt vào được đo bằng Von kế một chiều. Dòng điện được đo bằng thiết bị đo dòng điện mà có thể là galvanômét (hiện nay ít dùng), thiết bị khuếch đại điện tử hay một đồng hồ điện tử.

Thông thường, trong khi vật mẫu được nạp điện, thiết bị đo lường phải được ngắt mạch để tránh các hư hỏng cho đồng hồ trong thời gian ấy : galvanômét phải có độ nhạy cao và được nối vào một Sun vạn năng (Sun Ayrton thường gặp). Điện trở chưa biết tính bằng ohm và được tính theo :

$$R_x = U / k \cdot r$$

trong đó :

U : điện áp đặt vào tính bằng Von

k : độ nhạy của galvanômét được nối Sun, tính bằng Ampe theo vạch chia

α : độ lệch của vạch chia

Điện trở nằm trong 10^{10} đến $10^{11} \Omega$ có thể được đo ở điện áp 100 V với độ chính xác đủ của galvanômét

Một dụng cụ khuếch đại điện tử hay một đồng hồ tử với điện trở nối rất cao nối song song với một điện trở đã biết, điện trở cao R_s , có thể được dùng là thiết bị đo dòng điện. Dòng điện được đo dưới dạng độ giáng áp U_s trên R_s . Điện trở chưa biết R_x được tính như sau :

$$R_x = U \cdot R_s / U_s$$

trong đó :

U : điện áp đặt vào (với điều kiện $R_s \ll R_x$)

Một số điện trở khác nhau của R_s có thể gắn vào trong một hộp của thiết bị đo lường và thường vạch trực tiếp bằng Ampe hay ước số của Ampe

Cũng còn ở đây là điện trở cực đại có thể được đo với độ chính xác yêu cầu và phụ thuộc vào tính chất của thiết bị đo dòng. Sai số trong U_s phụ thuộc vào sai số đồng hồ chỉ thị, sự trôi của máy khuếch đại và độ ổn định của kết quả. Trong những máy khuếch đại và đồng hồ điện tử, độ không ổn định về kết quả là không đáng kể, độ trôi về không cũng rất thấp đến nỗi nó không còn quan trọng nữa, kể cả tới thời gian đo lường. Sai số của đồng hồ chỉ thị trong các đồng hồ điện tử có khuếch đại lớn thì thường là $\pm 2\%$ đến 5% của độ lệch kim đây vạch chia, và các điện trở tới $10^{12} \Omega$ với độ chính xác như vậy là chấp nhận được. Nếu thiết bị đo von có điện trở nội lớn hơn $10^{14} \Omega$ và độ lệch của vạch đây của điện áp vào là 10 mV, dòng điện 10^{-14} A được đo với độ chính xác khoảng $\pm 10\%$

Một điện trở $10^{16} \Omega$ cũng có thể được đo ở 100 V với độ chính xác đủ bằng phương pháp điện trở chính xác với điện trở rất cao và một von kế khuếch đại điện tử hay một đồng hồ điện tử.

A2. Các phương pháp so sánh

A2.1- Phương pháp cầu Wheatstone

Vật mẫu thí nghiệm được nối vào một vế của cầu Wheatstone như ghi trong hình 6, trang 21. ba vế đã biết có điện trở lớn và có độ chính xác đặc trưng cho các điện trở trị số lớn. Thông thường, điện trở R_B thay theo mức thập phân và điện trở R_A được dùng để điều chỉnh tinh, còn R_N thì cố định trong suốt thời gian đo lường. Đồng hồ chỉ thị là một bộ khuếch đại điện một chiều và có điện trở đầu vào cao so với bất kỳ một vế nào trong cầu

Điện trở chưa biết R_x được tính toán như sau :

$$R_x = R_N \cdot R_B / R_A$$

trong đó R_B , R_A và R_N được ghi trong hình 6

Sai số tương đối cực đại trong điện trở tính toán là tổng các sai số tương đối R_B , R_A và R_N , khi đồng hồ chỉ thị không có độ chính xác thích hợp. Nếu R_A và R_B là những điện trở cuộn dây có trị số thấp, thí dụ $1M\Omega$, sai số của chúng có thể bỏ qua, và để đo các điện trở rất cao, R_N có thể chọn $10^9\Omega$, và có thể có độ chính xác $\pm 2\%$. Độ chính xác với tỷ lệ R_B / R_A có thể được xác định phụ thuộc chủ yếu vào độ nhạy của đồng hồ chỉ thị không. Nếu điện trở chưa biết $R_x \gg R_N$, độ không chắc chắn Δr trong việc xác định tỷ lệ $r = R_B / R_A$ thì được xác định theo $\Delta r / r = I_g R_x / U$, trong đó I_g là dòng điện tối thiểu qua đồng hồ chỉ thị không và U là điện áp đặt vào cầu. nếu, thí dụ như, một đồng hồ khuếch đại điện tử với điện trở là $1M\Omega$ và độ lệch đầy vạch chia đối với điện áp đầu vào là $10^{-5} V$, dòng điện nhỏ nhất có thể nhận được sẽ là $2 \cdot 10^{-13} A$, tương ứng với 2% độ lệch đầy vạch. Với trị số I_g đó, $U = 100 V$ và $R_x = 10^{13}\Omega$, $\Delta r / r = 0,02$ hay 2% .

Điện trở trong khoảng 10^{13} đến $10^{14}\Omega$ cũng có thể được đo tại $100 V$ với độ chính xác đủ bởi phương pháp cầu Wheatstone.

A2.2- Phương pháp Ampe

Phương pháp này sử dụng mạch vẽ ở hình 7, trang 21 và các thành phần cũng là những thành phần ghi trong điều A1 với việc bổ sung thêm một điện trở R_N có trị số đã biết, và một khóa để ngắt mạch điện trở chưa biết.

Một điều quan trọng là điện trở của khóa điện này ở vị trí mở phải rất lớn so với điện trở chưa biết R_x để nó không làm ảnh hưởng tới việc đo điện trở R_x . Rất dễ dàng ngắt mạch R_x bằng một dây đồng, và gỡ nó ra khi đo R_x . Thường thường, nên để R_N luôn luôn ở trong mạch để hạn chế dòng điện trong trường hợp vật mẫu bị hư hỏng và cũng là để bảo vệ thiết bị đo dòng.

Với khóa điện ở trạng thái mở, dòng điện qua R_x và R_N được xác định như đã ghi ở điều 10 bằng cách ghi độ lệch α_x của thiết bị đo và tỷ lệ $S_{un} F_x$, độ S_{un} được điều chỉnh sao cho độ lệch càng lớn càng tốt. Sau đó, R_x được ngắt mạch và dòng điện qua R_N được xác định bằng cách ghi độ lệch α_N của thiết bị đo và tỷ lệ $S_{un} F_N$, S_{un} được điều chỉnh một lần nữa để cho độ lệch vạch chia gần như tối đa, bắt đầu từ độ chính xác nhỏ nhất. Với điều kiện điện áp đặt vào U không được thay đổi trong quá trình đo, R_x có thể được tính theo :

$$R_x = R_N [(\gamma_N \cdot F_N / \gamma_x \cdot F_x) - 1]$$

Nếu $\alpha_n \cdot F_N / \alpha_x \cdot F_x > 100$ thì công thức này có thể dùng :

$$R_x = R_N (\alpha_N \cdot F_N / \alpha_x \cdot F_x)$$

Phương pháp này cho phép xác định R_x với độ chính xác gần giống như phương pháp trực tiếp trong phần A1, nhưng nó có ưu điểm là thiết bị đo dòng được kiểm tra ngay tại nơi đo (insitu) bởi việc đo lường R_N , sai số của nó có thể không tính tới bằng cách dùng điện trở cuộn dây, có thể dễ dàng thực hiện được với độ chính xác trên và bằng 0,1%. Việc đo dòng điện qua R_x có thể rất tin tưởng.

QUANPHAM.VN

PHỤ LỤC B
CÁC CÔNG THỨC TÍNH A VÀ p

Trong phần lớn các trường hợp, các công thức gần đúng sau đủ chính xác để tính diện tích hữu ích A và chu vi hữu ích p của điện cực được bảo vệ

B1. Diện tích hữu ích A :

- | | |
|--|-------------------------|
| a. Các điện cực vòng tròn (Hình 2, trang 37) | $A = a (d_1 + g)^2 / 4$ |
| b. Điện cực chữ nhật | $A = (a + g) (b + g)$ |
| c. Điện cực hình vuông | $A = (a + g)^2$ |
| d. Điện cực hình trụ (Hình 3, trang 38) | $A = a(d_0-h)(l_1+g)$ |

trong đó : d_0, d_1, g, h và l_1 là kích thước ghi trong hình 2, và 3 , và a, b là chiều dài và rộng tương ứng của điện cực được bảo vệ khi là chữ nhật hay hình vuông. Kích thước biểu thị bằng m(cm)

B2. Chu vi hữu ích :

- | | |
|---------------------------------|------------------|
| a. Điện cực vòng tròn (Hình 2) | $p = a(d_1+g)$ |
| b. Điện cực chữ nhật | $p = 2(a+b+2g)$ |
| c. Điện cực hình vuông | $p = 4(a+g)$ |
| d. Điện cực hình trụ | $p = 2 a d_0$ |

trong đó các ký hiệu có nghĩa như khoản B1.

Hình 1 a

Hình 1b

Hình 1. Nối dây cơ bản của các điện cực được bảo vệ dùng cho :
a). điện trở suất khối b) điện trở suất bề mặt

QUANPHAM.VN

Điện cực No1

Điện cực No 2

Vật mẫu

Điện cực No 3

Hình 2 Thí dụ về bố trí các điện cực trên vật mẫu phẳng

Điện cực No 3

Điện cực No 2

Điện cực No 1

Vật mẫu

Hình 3 . Thí dụ về bố trí các điện cực
trên vật mẫu hình trụ

Điện cực No 1

Điện cực No 2

Điện cực No 3

Vật mẫu

Hình 4 . Bố trí các điện cực lỏng

QUANPHAM.VN

Hình 5 . Phương pháp Von-Ampe được dùng để đo điện trở khối . Muốn đo điện trở bề mặt, nối dây vào vật mẫu được thực hiện như trình bày ở hình 1b.

Hình 6. Phương pháp cầu Wheatstone để đo điện trở khối > Muốn đo điện trở bề mặt, cách nối dây của vật mẫu được thực hiện như hình 1b

QUANPHAM.VN

Hình 7. Phương pháp ampe=kế dùng đó điện trở khối .
Muốn đo điện trở bề mặt, nối dây như hình 1b.