

Mục lục

	Trang
Lời nói đầu	4
1 Phạm vi áp dụng	5
2 Định nghĩa	5
3 Ý nghĩa	6
4 Nguồn cung cấp	7
5 Phương pháp đo và độ chính xác	8
6 Mẫu thử nghiệm	10
7 Vật liệu điện cực.....	11
8 Di chuyển và lắp đặt mẫu.....	12
9 Ổn định.....	13
10 Qui trình thử nghiệm	13
11 Tính toán.....	14
12 Báo cáo	15
Phụ lục A (qui định) – Ví dụ về phương pháp đo và độ chính xác	17
Phụ lục B (tham khảo) – Công thức tính A và p	20

Lời nói đầu

TCVN 7918 : 2008 thay thế TCVN 3233 : 1979 và TCVN 3664 : 1981;

TCVN 7918 : 2008 hoàn toàn tương đương với IEC 60093 : 1980;

TCVN 7918 : 2008 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn quốc gia TCVN/TC/E1 *Máy điện và khí cụ điện* biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Phương pháp thử nghiệm suất điện trở khối và suất điện trở bề mặt của vật liệu cách điện rắn

Methods of test for volume resistivity and surface resistivity of solid electrical insulating materials

1 Phạm vi áp dụng

Phương pháp thử nghiệm này đề cập đến các quy trình để xác định điện trở khối, điện trở bề mặt và cách tính suất điện trở khối và suất điện trở bề mặt của vật liệu cách điện rắn.

Cả thử nghiệm điện trở khối và điện trở bề mặt đều chịu ảnh hưởng của các yếu tố như: độ lớn và thời gian đặt điện áp, bản chất và hình dạng điện cực, nhiệt độ và độ ẩm của môi trường và của mẫu trong quá trình ổn định và đo. Tiêu chuẩn này cũng đưa ra một số khuyến cáo đối với các yếu tố này.

2 Định nghĩa

2.1

Điện trở khối (volume resistance)

Thương số giữa điện áp một chiều của hai điện cực đặt trên hai bề mặt (đối diện nhau) của mẫu và dòng điện ổn định giữa các điện cực đó, không tính đến dòng điện dọc theo bề mặt, và bỏ qua hiện tượng phân cực có thể có ở các điện cực.

CHÚ THÍCH: Nếu không có qui định nào khác, điện trở khối được xác định sau 1 min tính từ khi đặt điện áp.

2.2

Suất điện trở khối (volume resistivity)

Thương số giữa cường độ trường điện một chiều và mật độ dòng điện ổn định trong vật liệu cách điện. Trong thực tế, suất điện trở khối được lấy bằng điện trở khối chia cho một đơn vị thể tích.

CHÚ THÍCH: Trong hệ SI, đơn vị suất điện trở khối tính bằng ôhm mét. Trên thực tế cũng sử dụng cả đơn vị ôhm centimét.

2.3

Điện trở bề mặt (surface resistance)

Thương số giữa điện áp một chiều của hai điện cực đặt trên bề mặt của mẫu và dòng điện giữa các điện cực đó sau một thời gian đặt điện áp cho trước, bỏ qua các hiện tượng phân cực có thể có tại các điện cực.

CHÚ THÍCH 1: Nếu không có qui định nào khác, điện trở bề mặt được xác định sau 1 min tính từ khi đặt điện áp.

CHÚ THÍCH 2: Nhìn chung, dòng điện chủ yếu chạy qua lớp bề mặt mẫu, hơi ẩm và các chất gây nhiễm bẩn bề mặt liên quan, nhưng cũng có một phần chạy qua thể tích mẫu.

2.4

Suất điện trở bề mặt (surface resistivity)

Thương số giữa cường độ trường điện một chiều và mật độ của dòng điện chạy thẳng ở lớp bề mặt của vật liệu cách điện. Trong thực tế, suất điện trở bề mặt được lấy bằng điện trở bề mặt chia cho một diện tích vuông. Kích thước vuông này là không quan trọng.

CHÚ THÍCH: Trong hệ SI, đơn vị suất điện trở bề mặt tính bằng Ω . Trên thực tế đôi khi cũng sử dụng đơn vị Ω trên diện tích vuông.

2.5

Điện cực (electrodes)

Điện cực dùng để đo là các vật dẫn có hình dạng, kích cỡ và kết cấu xác định tiếp xúc với mẫu cần đo.

CHÚ THÍCH CHUNG: Điện trở cách điện là tỷ số giữa điện áp một chiều đặt giữa hai điện cực tiếp xúc với mẫu và tổng dòng điện giữa các điện cực đó. Điện trở cách điện phụ thuộc vào cả suất điện trở khối và suất điện trở bề mặt của mẫu (xem IEC 60167, Phương pháp thử nghiệm để xác định điện trở bề mặt của vật liệu cách điện rắn).

3 Ý nghĩa

3.1 Nhìn chung, vật liệu cách điện được sử dụng để cách ly các thành phần của hệ thống điện với nhau và với đất; vật liệu cách điện rắn cũng có thể làm giá đỡ cơ khí. Với mục đích này, nhìn chung có thể mong muốn rằng, vật liệu cách điện có điện trở cách điện càng cao càng tốt, phù hợp với đặc tính cơ, hóa và đặc tính chịu nhiệt chấp nhận được. Điện trở bề mặt thay đổi rất nhanh theo độ ẩm, trong khi điện trở khối lại thay đổi chậm, mặc dù cuối cùng lượng thay đổi có thể lớn hơn.

3.2 Suất điện trở khối có thể được sử dụng như một công cụ hỗ trợ để chọn vật liệu cách điện cho ứng dụng cụ thể. Sự thay đổi suất điện trở theo nhiệt độ và độ ẩm có thể lớn và phải được biết trước khi thiết kế các điều kiện làm việc. Các phép đo suất điện trở khối thường được sử dụng để kiểm tra tính đồng nhất của vật liệu cách điện, liên quan đến xử lý hoặc phát hiện các tạp chất dẫn gây ảnh hưởng xấu đến vật liệu và có thể không dễ dàng phát hiện được bằng phương tiện khác.

3.3 Khi đặt điện áp một chiều vào giữa các điện cực tiếp xúc với mẫu, dòng điện chạy qua mẫu giảm tiệm cận về giá trị ổn định. Việc giảm dòng điện theo thời gian có thể là do sự phân cực điện môi và các ion di động chạy đến các điện cực. Đối với vật liệu có suất điện trở khối nhỏ hơn khoảng $10^{10} \Omega.m$ ($10^{12} \Omega.cm$), nhìn chung trạng thái ổn định đạt được trong vòng 1 min, và do đó suất điện trở được xác định sau thời gian đặt điện áp này. Đối với vật liệu có suất điện trở cao hơn, dòng điện có thể tiếp tục giảm trong một vài phút, giờ hoặc ngày thậm chí vài tuần. Do đó, đối với các vật liệu này, sử dụng thời gian đặt điện áp dài hơn và nếu liên quan, vật liệu được đặc trưng bởi sự phụ thuộc của suất điện trở khối vào thời gian.

3.4 Điện trở bề mặt hoặc điện dẫn bề mặt không thể đo được một cách chính xác mà chỉ là gần đúng, vì độ dẫn khối gần như luôn liên quan ít nhiều đến phép đo. Giá trị đo được phần lớn là đặc trưng cho nhiễm bẩn bề mặt của mẫu tại thời điểm đo. Tuy nhiên, hằng số điện môi của mẫu ảnh hưởng đến sự lắng đọng của các tạp chất, và khả năng dẫn của các tạp chất lại bị ảnh hưởng bởi đặc tính bề mặt của mẫu. Do đó suất điện trở bề mặt không phải là một đặc tính vật liệu theo nghĩa thông thường nhưng có thể được coi là có liên quan đến đặc tính của vật liệu khi có nhiễm bẩn.

Một số vật liệu, ví dụ như dạng nhiều lớp, có thể có suất điện trở hoàn toàn khác nhau ở lớp bề mặt và ở bên trong. Do đó việc đo đặc trưng vốn có của bề mặt sạch có thể là quan trọng. Các qui trình làm sạch nhằm tạo ra các kết quả nhất quán cần được qui định đầy đủ, có tính đến ảnh hưởng có thể có của dung môi và các yếu tố khác của qui trình làm sạch lên các đặc tính bề mặt.

Điện trở bề mặt, đặc biệt khi có giá trị lớn, thường thay đổi thất thường và phụ thuộc nhiều vào thời gian đặt điện áp; để thực hiện phép đo, thường qui định thời gian đặt điện áp là 1 min.

4 Nguồn cung cấp

Yêu cầu một nguồn điện áp một chiều rất ổn định. Nguồn này có thể là acqui hoặc nguồn chỉnh lưu và được ổn định. Mức độ ổn định được yêu cầu sao cho sự thay đổi dòng điện do thay đổi điện áp là không đáng kể so với dòng điện cần đo.

Thông thường điện áp thử nghiệm qui định cần đặt vào mẫu hoàn chỉnh là 100 V, 250 V, 500 V, 1 000 V, 2 500 V, 5 000 V, 10 000 V và 15 000 V. Trong số đó, điện áp thường được sử dụng là 100 V, 500 V và 1 000 V.

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

Nếu điện trở phụ thuộc cực tính thì cần chỉ ra. Giá trị trung bình nhân (trung bình cộng của các số mũ loga) của hai giá trị điện trở được lấy làm kết quả.

Vì điện trở của mẫu có thể phụ thuộc vào điện áp nên cần qui định giá trị điện áp thử nghiệm.

5 Phương pháp đo và độ chính xác

5.1 Phương pháp đo

Các phương pháp thường được sử dụng để đo giá trị điện trở lớn là phương pháp trực tiếp hoặc phương pháp so sánh.

Phương pháp trực tiếp dựa trên kết quả đo đồng thời điện áp một chiều đặt lên điện trở chưa biết và dòng điện chạy qua điện trở đó (phương pháp vôn mét – ampe mét).

Phương pháp so sánh thiết lập tỷ số giữa giá trị điện trở chưa biết và giá trị điện trở của một điện trở đã biết, theo mạch cầu hoặc bằng cách so sánh dòng điện chạy qua các điện trở ở điện áp cố định.

Ví dụ để minh họa nguyên tắc này được mô tả trong Phụ lục A.

Phương pháp vôn mét – ampe mét đòi hỏi một vôn mét có cấp chính xác hợp lý, nhưng độ nhạy và độ chính xác của phương pháp này phụ thuộc chủ yếu vào đặc tính của thiết bị đo dòng điện, có thể là một điện thế kế, dụng cụ đo có khuếch đại điện tử hoặc một điện kế.

Phương pháp cầu chỉ yêu cầu một bộ phát hiện dòng điện ví dụ như cơ cấu chỉ thị điểm không, và độ chính xác chủ yếu được xác định bằng điện trở nhánh cầu đã biết, có thể đạt được độ chính xác và ổn định cao trong một phạm vi rộng của các giá trị điện trở.

Độ chính xác của phương pháp so sánh dòng điện phụ thuộc vào độ chính xác của điện trở đã biết, độ ổn định và tuyến tính của thiết bị đo dòng điện, kể cả các điện trở đo kết hợp, v.v... trong khi các giá trị chính xác của dòng điện lại không quan trọng miễn là điện áp là hằng số.

Việc xác định giá trị suất điện trở khối phù hợp với 10.1 sử dụng điện thế kế trong phương pháp vôn mét – ampe mét là có thể thực hiện được đối với các giá trị điện trở đến khoảng $10^{11} \Omega$. Đối với các giá trị cao hơn, nên sử dụng khuếch đại hoặc dụng cụ đo điện một chiều.

Trong phương pháp cầu, không thể đo dòng điện một cách trực tiếp trong mẫu bị nối tắt (xem 10.1).

Các phương pháp sử dụng thiết bị đo dòng điện cho phép tự động ghi dòng điện để xác định được dễ dàng trạng thái ổn định (10.1).

Mạch đo và dụng cụ đo đặc biệt để đo điện trở lớn là có sẵn. Chúng có thể được sử dụng, với điều kiện là có đủ độ chính xác và độ ổn định, và khi cần, chúng có thể cho phép mẫu được nối tắt chính xác và đo được dòng điện trước khi đặt điện áp.

5.2 Độ chính xác

Thiết bị đo cần có khả năng xác định được giá trị điện trở chưa biết với độ chính xác tổng thể ít nhất là $\pm 10\%$ đối với các giá trị điện trở thấp hơn $10^{10} \Omega$, và $\pm 20\%$ đối với các giá trị cao hơn. Xem thêm Phụ lục A.

5.3 Che chắn

Cách điện của mạch đo tốt nhất là gồm các vật liệu có đặc tính cách điện so sánh được với đặc tính của vật liệu cần thử nghiệm. Sai số trong phép đo mẫu có thể phát sinh:

- a) do dòng điện tạp tán từ các điện áp bên ngoài không xác thực mà thường chưa biết về độ lớn và có đặc tính không đều đặn;
- b) do nối sun điện trở mẫu, điện trở chuẩn không thích hợp, hoặc thiết bị đo dòng điện kiểu cách ly, có điện trở chưa biết, và có thể có biến động lớn.

Việc hiệu chỉnh sai số này có thể đạt được bằng cách tạo ra điện trở cách điện của tất cả các bộ phận của mạch đo đến giá trị lớn nhất có thể trong các điều kiện sử dụng. Điều này có thể làm cho mạch đo trở nên cồng kềnh mà vẫn không thích hợp để đo điện trở cách điện lớn hơn vài trăm megaôm. Một biện pháp hiệu chỉnh thỏa đáng hơn có thể đạt được bằng cách sử dụng kỹ thuật che chắn.

Việc che chắn phụ thuộc vào cách chèn các dây dẫn che chắn vào tất cả các bộ phận cách điện quan trọng để chặn tất cả các dòng điện tạp tán có thể gây sai số. Các dây dẫn che chắn này được nối với nhau, tạo thành hệ thống che chắn và cùng với các đầu nối đo tạo thành mạng ba đầu nối. Khi thực hiện các đầu nối thích hợp, các dòng điện tạp tán do điện áp bên ngoài không xác thực sẽ được chuyển hướng khỏi mạch đo nhờ hệ thống che chắn, điện trở cách điện từ đầu nối đo đến hệ thống che chắn cũng được chuyển sang phần tử mạch điện có điện trở thấp hơn rất nhiều, điện trở của mẫu là một tuyến trực tiếp duy nhất giữa các đầu nối đo. Bằng kỹ thuật này, xác suất sai số giảm đi đáng kể. Hình 1 thể hiện cách đấu nối cơ bản đối với các điện cực được che chắn được sử dụng để đo điện trở khối và điện trở bề mặt.

Việc sử dụng đúng hệ thống che chắn đối với phương pháp liên quan đến phép đo dòng điện được minh họa trong Hình 5 và Hình 7, ở đó hệ thống che chắn được nối với điểm nối nguồn điện áp và thiết bị đo dòng điện. Trong Hình 6, đối với phương pháp cầu Wheatstone, hệ thống che chắn được nối với điểm nối giữa hai nhánh điện trở có giá trị thấp hơn. Trong mọi trường hợp, để có hiệu quả, việc che chắn phải hoàn chỉnh và phải bao gồm mọi cơ cấu điều khiển do người thực hiện phép đo thao tác.

Sức điện động điện phân, sức điện động tiếp xúc và sức điện động nhiệt tồn tại giữa đầu nối che chắn và đầu nối được che chắn có thể được bù nếu chúng có giá trị nhỏ. Cần thận trọng để các sức điện động này không gây sai số đáng kể trong phép đo.

Sai số trong các phép đo dòng điện có thể phát sinh từ thực tế là thiết bị đo dòng điện được phân dòng bằng điện trở giữa đầu nối được che chắn và hệ thống che chắn. Điện trở này cần tối thiểu bằng 10 lần nhưng tốt nhất là 100 lần điện trở của thiết bị đo dòng điện. Trong một số kỹ thuật mạch cầu, tấm chắn và đầu nối đo được mang cùng một điện thế nhưng điện trở tiêu chuẩn trong mạch cầu được nối sun bằng một điện trở giữa đầu nối không được che chắn và hệ thống che chắn. Điện trở này cần tối thiểu bằng 10 lần và tốt nhất bằng 100 lần giá trị điện trở chuẩn.

Để đảm bảo thiết bị làm việc thỏa đáng, phép đo cần thực hiện với dây dẫn từ nguồn điện áp đến mẫu được ngắt ra. Trong điều kiện này, thiết bị cần chỉ ra giá trị điện trở là vô cùng trong phạm vi độ nhạy của nó. Nếu có sẵn các giá trị điện trở tiêu chuẩn thì có thể sử dụng chúng để kiểm tra hoạt động của thiết bị.

6 Mẫu thử nghiệm

6.1 Suất điện trở khối

Để xác định suất điện trở khối, mẫu thử nghiệm có thể có dạng bất kỳ để có thể sử dụng điện cực thứ ba làm che chắn chống sai số do hiệu ứng bề mặt. Đối với các mẫu có mức rò bề mặt không đáng kể, có thể bỏ qua che chắn này khi đo điện trở khối, với điều kiện chứng minh được là không ảnh hưởng đáng kể đến kết quả.

Khe hở trên bề mặt mẫu giữa điện cực được che chắn và điện cực che chắn cần có chiều rộng đồng nhất và càng hẹp càng tốt với điều kiện là mức rò bề mặt này không gây sai số trong phép đo. Khe hở 1 mm thường là kích thước khả thi nhỏ nhất.

Ví dụ về bố trí ba điện cực được thể hiện trên Hình 2 và Hình 3. Trong phép đo điện trở khối, điện cực số 1 là điện cực được che chắn. Điện cực số 2 là điện cực che chắn và điện cực số 3 là điện cực không được che chắn. Đường kính d_1 (Hình 2), hoặc chiều dài l_1 (Hình 3) của điện cực được che chắn cần tối thiểu bằng 10 lần chiều dày h của mẫu và trên thực tế thường có giá trị tối thiểu là 25 mm. Đường kính d_4 (hoặc chiều dài l_4) của điện cực không được che chắn, và đường kính ngoài d_3 của điện cực che chắn (hoặc chiều dài l_3 giữa các mép ngoài của các điện cực che chắn) cần bằng đường kính bên trong d_2 của điện cực che chắn (hoặc chiều dài l_2 giữa các mép trong của điện cực che chắn) cộng với ít nhất là hai lần chiều dày mẫu.

6.2 Suất điện trở bề mặt

Để xác định suất điện trở bề mặt, mẫu thử nghiệm có thể có dạng khả thi bất kỳ cho phép sử dụng điện cực thứ ba để che chắn tránh sai số do hiệu ứng thể tích. Nên sử dụng bố trí ba điện cực của Hình 2 và Hình 3. Điện trở khe hở bề mặt giữa điện cực số 1 và số 2 được đo trực tiếp bằng cách sử dụng điện cực số 1 làm điện cực được che chắn, điện cực số 3 làm điện cực che chắn và điện cực số 2 làm điện cực không được che chắn. Điện trở được đo như vậy gồm điện trở bề mặt giữa điện cực 1 và điện cực 2 và điện trở khối giữa hai điện cực đó. Tuy nhiên, với việc định kích thước thích hợp của các điện cực, ảnh hưởng của điện trở khối có thể là không đáng kể đối với phần lớn các điều kiện môi trường và đặc tính vật liệu. Điều kiện này có thể đạt được đối với bố trí của Hình 2 và Hình 3 khi các điện cực có kích thước sao cho chiều rộng khe hở bề mặt g ít nhất bằng hai lần chiều dày mẫu; thông thường 1 mm là kích thước khả thi nhỏ nhất. Đường kính d_1 (hoặc chiều dài l_1) của điện cực được che chắn cần tối thiểu bằng 10 lần chiều dài mẫu h , và trên thực tế thường tối thiểu là 25 mm.

Một cách thay thế, có thể sử dụng điện cực thẳng hoặc các bố trí khác.

CHÚ THÍCH: Do ảnh hưởng của dòng điện xuyên qua phần bên trong của mẫu thử nghiệm, giá trị tính được của suất điện trở bề mặt có thể phụ thuộc nhiều vào kích thước của mẫu và của điện cực. Do đó để so sánh, nên sử dụng các mẫu có dạng giống nhau với bố trí điện cực của Hình 2, $d_1 = 50$ mm, $d_2 = 60$ mm và $d_3 = 80$ mm.

7 Vật liệu điện cực

7.1 Qui định chung

Điện cực dùng cho các vật liệu cách điện cần là vật liệu dễ áp dụng, cho phép tiếp xúc tốt với bề mặt mẫu và không tạo ra sai số đáng kể do điện trở điện cực hoặc làm nhiễm bẩn mẫu. Vật liệu điện cực cần có khả năng chống ăn mòn trong các điều kiện thử nghiệm. Dưới đây là các vật liệu điện cực điển hình có thể được sử dụng. Các điện cực phải được sử dụng với tấm đỡ thích hợp có hình dạng và kích thước cho trước.

Có thể sẽ thuận lợi khi sử dụng hai vật liệu điện cực khác nhau hoặc hai phương pháp áp dụng khác nhau để xem liệu có dẫn đến sai số đáng kể không.

7.2 Sơn bạc dẫn điện

Một số loại sơn bạc nhất định có độ dẫn điện cao, bán sẵn trên thị trường, được để khô trong không khí hoặc sấy ở nhiệt độ thấp đều có dạng xốp thích hợp để hấp thụ hơi ẩm qua chúng và bằng cách đó cho phép các mẫu thử nghiệm được ổn định sau khi đặt điện cực. Đây là đặc trưng hữu ích trong việc nghiên cứu các ảnh hưởng chịu ẩm cũng như thay đổi theo nhiệt độ. Tuy nhiên, trước khi sử dụng sơn dẫn điện làm vật liệu điện cực, cần xác định rằng dung môi trong sơn không ảnh hưởng đến đặc tính điện của mẫu. Có thể làm nhẵn các mép của điện cực che chắn ở mức hợp lý bằng một chổi sơn có lông mịn. Tuy nhiên, nếu điện cực hình tròn thì các mép sắc hơn có thể có được bằng cách sử dụng compa vẽ các đường tròn bao ngoài của điện cực và dùng chổi sơn điển đầy sơn vào vùng này. Cũng có thể sử dụng các mạng che dạng kẹp nhanh nếu điện cực được sơn bằng cách phun.

7.3 Kim loại theo công nghệ phun

Có thể sử dụng phương pháp phun kim loại nếu có thể có được độ bám dính thỏa đáng vào mẫu thử nghiệm. Các điện cực được phun lớp mỏng có thể có một số ưu điểm nhất định ví dụ như có thể sử dụng ngay sau khi phun. Chúng có thể có đủ độ xốp để cho phép ổn định mẫu, nhưng điều này cần được kiểm tra. Có thể sử dụng mạng che dạng kẹp nhanh để tạo ra khe hở giữa điện cực được che chắn và điện cực che chắn.

7.4 Kim loại theo công nghệ bốc bay hoặc thổi

Kim loại bốc bay hoặc thổi có thể được sử dụng trong các điều kiện giống với 7.3 khi có thể chứng minh được vật liệu không bị ảnh hưởng bởi sự bắn phá ion hoặc xử lý chân không.

7.5 Điện cực bằng chất lỏng

Điện cực bằng chất lỏng có thể được sử dụng và cho kết quả thỏa đáng. Chất lỏng tạo thành điện cực ở phía trên cần được chặn lại, ví dụ, bằng các vành thép không gỉ, cạnh dưới của các vành này được mài vát tạo thành mép sắc ở phía cách xa chất lỏng. Hình 4 thể hiện bố trí điện cực này. Không nên sử dụng thủy ngân một cách liên tục hoặc ở nhiệt độ nâng cao do ảnh hưởng độc hại.

7.6 Than chì dạng keo

Than chì dạng keo phân tán trong nước hoặc môi chất thích hợp khác có thể được sử dụng trong các điều kiện giống với 7.2.

7.7 Cao su dẫn điện

Có thể sử dụng cao su dẫn điện làm vật liệu điện cực. Nó cũng có ưu điểm là có thể đặt vào hoặc lấy ra khỏi mẫu một cách nhanh chóng và dễ dàng. Vì chỉ đặt điện cực trong thời gian đo nên chúng không gây cản trở đến ổn định mẫu. Vật liệu cao su dẫn điện phải đủ mềm để đảm bảo đạt được tiếp xúc hiệu quả với mẫu khi đặt vào một áp lực hợp lý, ví dụ 2 kPa (0,2 N/cm²).

7.8 Lá kim loại

Lá kim loại có thể được áp lên các bề mặt mẫu như các điện cực để đo điện trở khối, nhưng không thích hợp để đo điện trở bề mặt. Thường sử dụng là chì, chì antimon, nhôm và thiếc. Các lá kim loại này thường được gắn với mẫu bằng một lượng nhỏ mỡ, mỡ silicon, dầu hoặc vật liệu thích hợp khác làm chất kết dính. Hỗn hợp dưới đây thích hợp để làm chất kết dính dẫn điện.

Polyetylen glyco khan có khối lượng phân tử 600	800 phần theo khối lượng
Nước	200 phần theo khối lượng
Xà phòng mềm (chất lượng dược phẩm)	1 phần theo khối lượng
Kali clorua	10 phần theo khối lượng

Các điện cực phải được miết với áp lực đủ để loại bỏ các nếp nhăn và đẩy lượng chất kết dính dư về phía mép của lá kim loại tại đó có thể lau sạch bằng giấy ăn. Cũng có thể miết bằng vật liệu mềm ví dụ như ngón tay. Kỹ thuật này chỉ có thể được sử dụng trên mẫu có bề mặt rất nhẵn. Có thể giảm màng kết dính xuống còn 0,0025 mm hoặc nhỏ hơn khi thực hiện cẩn thận.

8 Di chuyển và lắp đặt mẫu

Điều quan trọng là dòng điện tập tán giữa các điện cực hoặc giữa điện cực dùng để đo và đất không được có ảnh hưởng đáng kể lên số đọc của dụng cụ đo. Khi đặt điện cực, khi di chuyển và lắp đặt mẫu để đo cần hết sức cẩn thận để tránh hình thành các tuyến tập tán có thể có ảnh hưởng bất lợi lên kết quả của phép đo.

Khi đo điện trở bề mặt, không được làm sạch bề mặt trừ khi có thỏa thuận hoặc có qui định. Chỉ được chạm vào phần bề mặt cần đo bằng bề mặt của một mẫu khác có cùng vật liệu mà bề mặt của nó chưa bị chạm tới.

9 Ổn định

Việc ổn định cần thực hiện trên mẫu phụ thuộc vào vật liệu cần thử nghiệm và cần được qui định trong qui định kỹ thuật của vật liệu.

Các điều kiện khuyến cáo được cho trong IEC 60212: Điều kiện tiêu chuẩn để sử dụng trước và trong quá trình thử nghiệm vật liệu cách điện rắn, và độ ẩm tương đối kết hợp với dung dịch muối khác nhau được cho trong IEC 60260: Vỏ bọc thử nghiệm loại không phun đối với độ ẩm tương đối không đổi. Có thể sử dụng hệ thống bay hơi bằng cơ khí.

Cả suất điện trở khối và suất điện trở bề mặt đều đặc biệt nhạy với thay đổi nhiệt độ. Thay đổi này theo quy luật hàm số mũ. Do đó cần đo điện trở khối và điện trở bề mặt của mẫu trong các điều kiện qui định. Thời gian ổn định kéo dài được yêu cầu để xác định ảnh hưởng của độ ẩm lên suất điện trở khối vì hấp thụ nước vào chất điện môi là quá trình tương đối chậm. Hấp thụ nước thường làm giảm điện trở khối. Một số mẫu có thể yêu cầu hàng tháng để đạt được cân bằng.

10 Qui trình thử nghiệm

Một số lượng mẫu như qui định trong qui định kỹ thuật liên quan được chuẩn bị phù hợp với Điều 6, Điều 7, Điều 8 và Điều 9.

Kích thước mẫu và kích thước điện cực, và độ rộng của khe hở bề mặt g được đo với độ chính xác $\pm 1\%$. Tuy nhiên, đối với các mẫu mỏng có thể qui định độ chính xác khác trong qui định kỹ thuật liên quan, nếu thích hợp.

Để xác định suất điện trở khối, chiều dày trung bình của từng mẫu được xác định theo qui định kỹ thuật liên quan, các điểm đo được phân bố đều trên diện tích được che phủ bởi điện cực đo được che chắn.

CHÚ THÍCH: Đối với các mẫu mỏng, ít nhất là cần phải đo chiều dày trước khi đặt điện cực.

Nhìn chung, phép đo điện trở cần được thực hiện ở độ ẩm (ngoại trừ đối với ổn định bằng cách nhúng trong chất lỏng) và nhiệt độ giống như được sử dụng trong quá trình ổn định. Tuy nhiên trong một số trường hợp, có thể đo trong thời gian qui định sau khi kết thúc quá trình ổn định.

10.1 Điện trở khối

Trước khi đo, mẫu phải được đặt vào điều kiện ổn định điện môi. Để đạt được điều này, nối tắt điện cực đo số 1 và số 3 của mẫu, (Hình 1a) thông qua thiết bị đo và theo dõi sự thay đổi dòng điện trong khi tăng độ nhạy của thiết bị đo dòng như yêu cầu. Tiếp tục cho đến khi dòng điện ngắn mạch đạt đến giá trị tương đối ổn định, nhỏ hơn giá trị ổn định dự kiến của dòng điện khi đặt điện áp, hoặc nếu liên quan,

dòng điện ở 100 min từ khi đặt điện áp. Vì có khả năng thay đổi hướng của dòng điện ngắn mạch nên ngắn mạch cần được duy trì ngay cả khi dòng điện đi qua điểm không. Độ lớn và hướng của dòng điện ngắn mạch I_0 được ghi lại khi dòng điện này về cơ bản là không đổi, và có thể đòi hỏi trong vài giờ.

Sau đó đặt điện áp một chiều qui định, đồng thời khởi động thiết bị đếm thời gian. Nếu không có qui định nào khác, thực hiện phép đo sau mỗi thời gian đặt điện áp là: 1 min, 2 min, 5 min, 10 min, 50 min, 100 min. Nếu hai phép đo liên tiếp cho các kết quả giống nhau thì có thể kết thúc thử nghiệm, và khi đó sử dụng giá trị tìm được để tính toán điện trở khối. Ghi lại thời gian từ khi đặt điện áp cho đến lần đầu tiên có kết quả đo giống nhau. Nếu trạng thái ổn định không đạt được trong vòng 100 min thì điện trở khối được ghi lại là hàm của thời gian đặt điện áp.

Đối với các thử nghiệm chấp nhận, giá trị sau khoảng thời gian đặt điện áp cố định, ví dụ 1 min, được sử dụng như qui định trong yêu cầu kỹ thuật liên quan.

10.2 Điện trở bề mặt

Đặt điện áp một chiều qui định, và xác định điện trở giữa các điện cực dùng để đo trên bề mặt mẫu (điện cực số 1 và số 2, Hình 1b). Điện trở phải được xác định sau 1 min đặt điện áp, cho dù dòng điện không nhất thiết phải đạt đến giá trị ổn định trong thời gian này.

11 Tính toán

11.1 Suất điện trở khối

Suất điện trở khối phải được tính từ công thức sau:

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

trong đó

ρ là suất điện trở khối, tính bằng ôm mét (ôm centimét).

R_x là điện trở khối, tính bằng ôm, được đo theo qui định trong 10.1

A là diện tích hữu dụng của điện cực được che chắn, tính bằng mét vuông (hoặc centimét vuông)

h chiều dày trung bình của mẫu, tính bằng mét (hoặc centimét).

Công thức để tính diện tích hữu dụng A đối với một số bố trí điện cực cụ thể được cho trong Phụ lục B.

Đối với một số vật liệu có suất điện trở cao, dòng điện ngắn mạch I_0 trước khi đặt điện áp (xem 10.1) có thể có giá trị đáng kể so với dòng điện ổn định I_s trong thời gian đặt điện áp. Trong các trường hợp như vậy, điện trở khối được xác định như sau:

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

trong đó

R_x là điện trở khối, tính bằng ôm

U_x là điện áp đặt, tính bằng vôn

I_s là dòng điện ổn định, tính bằng ampe, trong thời gian đặt điện áp, hoặc giá trị dòng điện, tính bằng ampe, sau 1 min, 10 min và 100 min nếu dòng điện thay đổi trong thời gian đặt điện áp

I_0 là dòng điện ngắn mạch, tính bằng ampe, trước khi đặt điện áp

Sử dụng dấu trừ khi I_0 cùng hướng với I_s , ngược lại thì sử dụng dấu cộng.

11.2 Suất điện trở bề mặt

Suất điện trở bề mặt phải được tính bằng công thức:

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

trong đó:

σ suất điện trở bề mặt, tính bằng ôm

R_x là điện trở bề mặt, tính bằng ôm, được đo theo qui định trong 10.2

p là chu vi hữu dụng, tính bằng mét (centimét) của điện cực được che chắn đối với bố trí điện cực cụ thể được sử dụng

g là khoảng cách, tính bằng mét (centimét), giữa hai điện cực

11.3 Khả năng tái lập

Do có sự thay đổi điện trở của mẫu cho trước với các điều kiện thử nghiệm và do tính không đồng nhất giữa các mẫu nên việc xác định thường không có khả năng tái lập trong phạm vi sát hơn $\pm 10\%$ và thậm chí thường lệch nhau nhiều hơn (phạm vi các giá trị từ 10 đến 1 có thể đạt được trong các điều kiện hiển nhiên là như nhau).

Để các phép đo trên các mẫu giống nhau có thể so sánh được, chúng phải được thực hiện với các gradient điện áp xấp xỉ bằng nhau.

12 Báo cáo

Báo cáo tối thiểu phải gồm các thông tin sau:

- a) mô tả và nhận biết vật liệu (tên, loại, màu, nhà chế tạo, v.v...);
- b) hình dạng và kích thước mẫu;
- c) kiểu, vật liệu và kích thước của các điện cực và màn chắn;

TCVN 7918 : 2008

- d) Ổn định mẫu (làm sạch, sấy trước, thời gian ổn định, độ ẩm và nhiệt độ, v.v...);
- e) điều kiện thử nghiệm (nhiệt độ mẫu, độ ẩm tương đối);
- f) phương pháp đo;
- g) điện áp đặt;
- h) suất điện trở khối (nếu có liên quan);

CHÚ THÍCH 1: Khi qui định thời gian đặt điện áp cố định, thì phải nêu thời gian này, đưa ra các kết quả riêng rẽ và ghi vào báo cáo giá trị trung bình làm giá trị suất điện trở khối.

CHÚ THÍCH 2: Khi các phép đo được thực hiện sau các thời gian đặt điện áp khác nhau, phải ghi vào báo cáo như sau:

Khi mẫu đạt đến trạng thái ổn định trong thời gian đặt điện áp như nhau, cho các kết quả riêng rẽ, và ghi vào báo cáo giá trị trung bình làm giá trị suất điện trở khối. Khi một số mẫu không đạt đến trạng thái ổn định trong thời gian đặt điện áp này, ghi vào báo cáo số lượng mẫu đó và ghi vào báo cáo các kết quả riêng rẽ của chúng. Khi các kết quả này phụ thuộc vào thời gian đặt điện áp, ghi vào báo cáo mối quan hệ này, ví dụ ở dạng đồ thị, hoặc dưới dạng giá trị suất điện trở khối sau 1 min, 10 min và 100 min.

- i) suất điện trở bề mặt (nếu có liên quan): đưa ra các giá trị riêng rẽ sau 1 min đặt điện áp và ghi vào báo cáo giá trị trung bình làm giá trị suất điện trở bề mặt.

Phụ lục A

(qui định)

Ví dụ về phương pháp đo và độ chính xác

A.1 Phương pháp vôn mét – ampe mét

Phương pháp trực tiếp này sử dụng mạch điện được thể hiện trên Hình 5. Điện áp đặt được đo bằng vôn mét một chiều. Dòng điện được đo bằng thiết bị đo dòng, có thể là điện thế kế (hiện nay ít được sử dụng), một dụng cụ đo có khuếch đại điện tử hoặc dụng cụ đo điện.

Nhìn chung, trong khi mẫu được nạp điện, thiết bị đo cần được nối tắt để bị tránh hỏng trong thời gian này.

Điện thế kế cần có độ nhạy cao với dòng điện và có điện trở sun vạn năng (hay còn gọi là điện trở sun Ayrton). Điện trở chưa biết, tính bằng ôm, được tính như sau:

$$R_x = U / k\alpha$$

trong đó:

U là điện áp đặt, tính bằng vôn

k là độ nhạy của điện thế kế có nối sun, tính bằng ampe trên một độ chia

α là độ lệch, tính bằng số vạch chia

Các điện trở có giá trị khoảng từ $10^{10} \Omega$ đến $10^{11} \Omega$ có thể được đo ở 100 V với độ chính xác yêu cầu bằng điện thế kế.

Dụng cụ đo có khuếch đại điện tử hoặc thiết bị đo điện có điện trở đầu vào lớn được nối sun bằng điện trở đã biết có điện trở lớn R_s có thể được sử dụng làm thiết bị đo dòng. Dòng điện được đo dưới dạng điện áp rơi U_s trên R_s . Giá trị điện trở chưa biết R_x có thể được tính như sau:

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

trong đó

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

Một số điện trở R_s khác nhau có thể nằm trong vỏ của dụng cụ đo và do đó dụng cụ đo thường được chia độ trực tiếp thành ampe hoặc ước số của ampe.

Giá trị điện trở lớn nhất mà có thể được đo với độ chính xác yêu cầu phụ thuộc vào đặc tính của thiết bị đo dòng. Sai số trong U_s được xác định bằng sai số của bộ chỉ thị, sự trôi điểm không và độ ổn định độ khuếch đại của bộ khuếch đại. Trong thiết bị đo điện và bộ khuếch đại được thiết kế thích hợp, độ

không ổn định của độ khuếch đại là không đáng kể, và sự trôi điểm không có thể được giữ ở giá trị nhỏ sao cho không cần quan tâm đến thời gian của các phép đo này. Sai số của bộ chỉ thị đối với vôn mét điện tử có độ khuếch đại lớn thường là $\pm 2\%$ đến $\pm 5\%$ của độ lệch toàn thang đo, và các điện trở đến $10^{12} \Omega$ có độ chính xác xấp xỉ nhau là khả thi. Nếu thiết bị đo điện áp có điện trở đầu vào lớn hơn $10^{14} \Omega$ và độ lệch toàn thang đo ở điện áp vào 10 mV thì dòng điện 10^{-14} A có thể đo được với độ chính xác xấp xỉ $\pm 10\%$.

Do đó, có thể đo được điện trở $10^{16} \Omega$ tại điện áp 100 V với độ chính xác yêu cầu bằng điện trở chính xác có giá trị điện trở cao và vôn mét khuếch đại điện tử và thiết bị đo điện.

A.2 Phương pháp so sánh

A.2.1 Phương pháp cầu Wheatstone

Mẫu thử nghiệm được nối vào một nhánh của cầu Wheatstone như thể hiện trên Hình 6. Ba nhánh đã biết phải có điện trở cao nhất có thể, bị hạn chế bởi các sai số vốn có trong các điện trở đó. Thông thường, điện trở R_B được thay đổi theo các bước bằng một đế các và giá trị điện trở R_A được sử dụng để tinh chỉnh cân bằng, và R_N giữ cố định trong thời gian đo. Bộ phát hiện phải là khuếch đại một chiều có điện trở đầu vào lớn so với nhánh bất kỳ trong các nhánh này. Điện trở chưa biết R_x được tính như sau:

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

trong đó R_A , R_B và R_N được thể hiện trên Hình 6.

Sai số lớn nhất tính bằng phần trăm trong điện trở tính được là tổng của các sai số tính bằng phần trăm theo R_A , R_B và R_N , khi bộ phát hiện điểm không có đủ độ nhạy. Nếu R_A và R_B là điện trở dây quấn có giá trị thấp, ví dụ, 1 M Ω , sai số của chúng có thể không đáng kể, và để đo điện trở rất cao, ví dụ R_N có thể bằng $10^9 \Omega$, thì có thể biết được với độ chính xác $\pm 2\%$. Độ chính xác khi xác định tỷ số R_B/R_A chủ yếu phụ thuộc vào độ nhạy của bộ phát hiện điểm không. Nếu điện trở chưa biết $R_x \gg R_N$, độ không đảm bảo Δr khi xác định tỷ số $r = R_B / R_A$ được xác định bằng $\Delta r / r = I_g \cdot R_x / U$, trong đó I_g là dòng điện tối thiểu mà bộ phát hiện điểm không có thể nhận thấy được và U là điện áp đặt vào cầu. Ví dụ, nếu dụng cụ đo có khuếch đại điện tử có điện trở đầu vào 1 M Ω và sử dụng độ lệch toàn thang đo đối với điện áp đầu vào 10^5 thì dòng điện thấp nhất nhận thấy được sẽ vào khoảng 2.10^{-13} A, ứng với 2% độ lệch toàn thang đo. Với giá trị I_g này, thì $U = 100$ V, $R_x = 10^{13} \Omega$ và đạt được $\Delta r / r = 0,02$ hoặc 2%.

Do đó, có thể đo được giá trị điện trở từ $10^{13} \Omega$ đến $10^{14} \Omega$ ở điện áp 100 V với độ chính xác yêu cầu bằng phương pháp cầu Wheatstone.

A.2.2 Phương pháp ampe mét

Phương pháp này sử dụng mạch điện thể hiện trên Hình 7, và các linh kiện giống với phương pháp mô tả trong A1, có thêm điện trở R_N có giá trị đã biết, và công tắc để nối tắt điện trở chưa biết. Quan trọng

là ở chỗ điện trở của công tắc này ở vị trí hở mạch phải lớn hơn nhiều so với điện trở chưa biết R_x để không làm ảnh hưởng đến phép đo R_x . Yêu cầu này dễ dàng đạt được bằng cách nối tắt R_x bởi sợi dây đồng, và sẽ được lấy ra khi đo R_N . Nhìn chung, ưu tiên để R_N trong mạch điện trong suốt quá trình đo để giới hạn dòng điện trong trường hợp có hỏng mẫu và do đó bảo vệ được thiết bị đo dòng.

Khi công tắc ngắt, dòng điện chạy qua R_x và R_N được xác định như qui định trong Điều 10 bằng cách ghi lại độ lệch của dụng cụ đo α_x và tỷ số sun F_x , điện trở sun được điều chỉnh để cho ra độ lệch thang đo lớn nhất có thể. Sau đó, R_x được nối tắt và dòng điện chạy qua R_N được xác định bằng cách ghi lại độ lệch của dụng cụ α_N và tỷ số sun F_N , điện trở sun lại được điều chỉnh để cho ra độ lệch thang đo lớn nhất có thể, bắt đầu từ độ nhạy nhỏ nhất. Với điều kiện là điện áp đặt U không thay đổi trong suốt thời gian đo, có thể tính R_x bằng công thức sau:

$$R_x = R_N \left[\left(\alpha_N F_N / \alpha_x F_x \right) - 1 \right]$$

nếu $\alpha_N F_N / \alpha_x F_x > 100$ thì có thể sử dụng công thức xấp xỉ

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

Phương pháp này cho phép xác định R_x với độ chính xác giống với phương pháp trực tiếp mô tả trong Điều A.1, nhưng có ưu điểm là thiết bị đo dòng điện được kiểm tra tại hiện trường bằng cách đo R_N mà sai số có thể không đáng kể bằng cách sử dụng điện trở dây quấn, dễ dàng đạt được với độ chính xác 0,1 % hoặc tốt hơn. Do đó, phép đo dòng điện qua R_x có thể tin cậy hơn.

Phụ lục B

(tham khảo)

Công thức tính A và p

Trong hầu hết các trường hợp, công thức xấp xỉ dưới đây có đủ độ chính xác để tính diện tích hữu dụng A và chu vi hữu dụng p của điện cực được che chắn.

B.1 Diện tích hữu dụng A

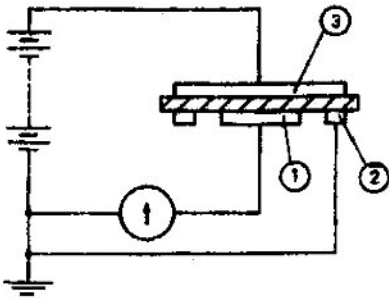
- a) Điện cực hình tròn (Hình 2) $A = \pi(d_1 + g)^2 / 4$
- b) Điện cực chữ nhật $A = (a + g)(b + g)$
- c) Điện cực hình vuông $A = (a + g)^2$
- d) Điện cực dạng ống $A = \pi(d_0 - h)(l_1 + g)$

trong đó d_0, d_1, g, h và l_1 là các kích thước được thể hiện trên Hình 2 và Hình 3, còn a và b là chiều dài và chiều rộng tương ứng của điện cực được che chắn khi chúng có dạng hình chữ nhật hoặc hình vuông. Các kích thước này được tính bằng mét (centimét).

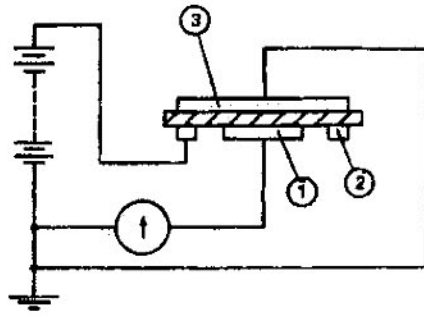
B.2 Chu vi hữu dụng p

- a) Điện cực hình tròn (Hình 2) $p = \pi(d_1 + g)$
- b) Điện cực chữ nhật $p = 2(a + b + 2g)$
- c) Điện cực hình vuông $p = 4(a + g)$
- d) Điện cực dạng ống $p = 2\pi d_0$

trong đó ý nghĩa các ký hiệu giống với Điều B1.



Hình 1a

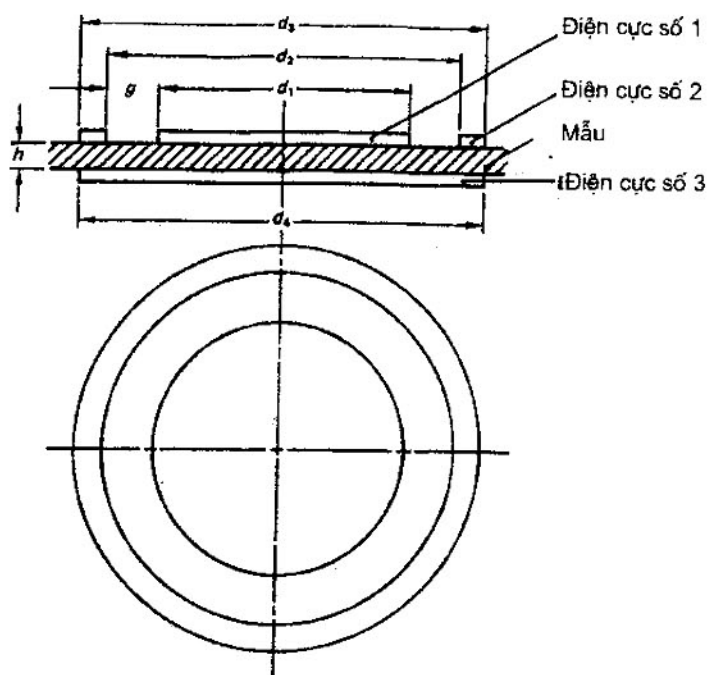


Hình 1b

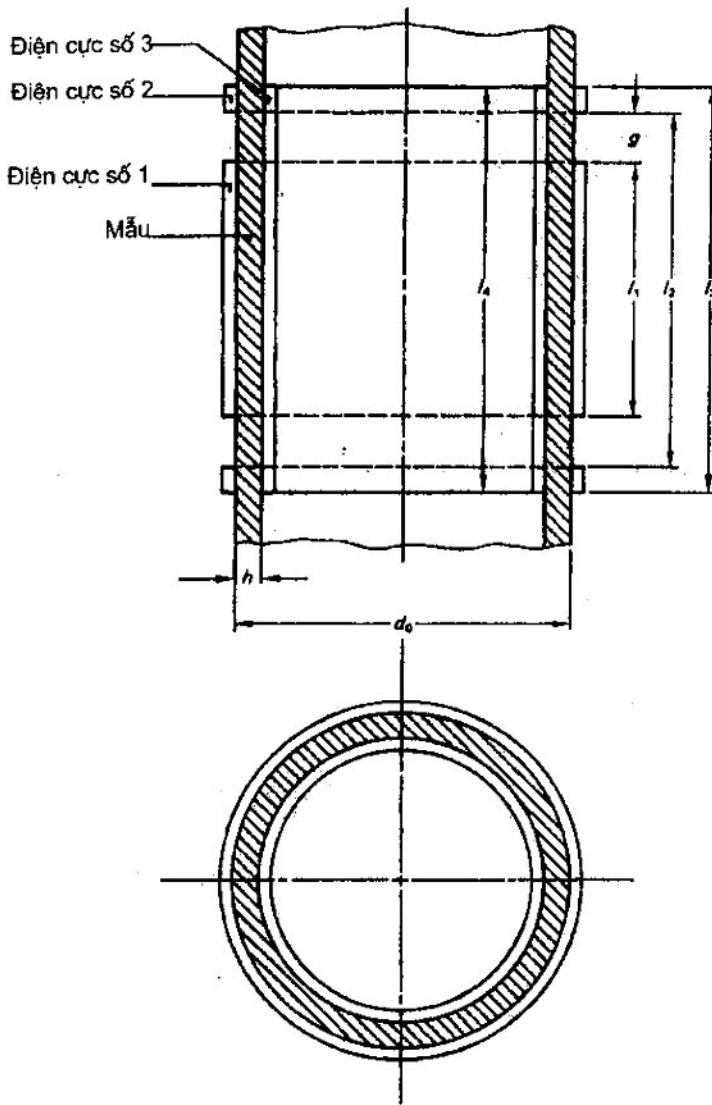
Hình 1 – Đầu nối cơ bản đối với các điện cực được che chắn sử dụng cho

a) suất điện trở khối

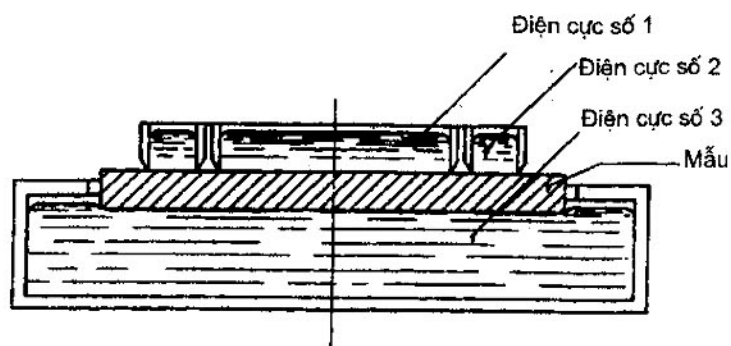
b) suất điện trở bề mặt



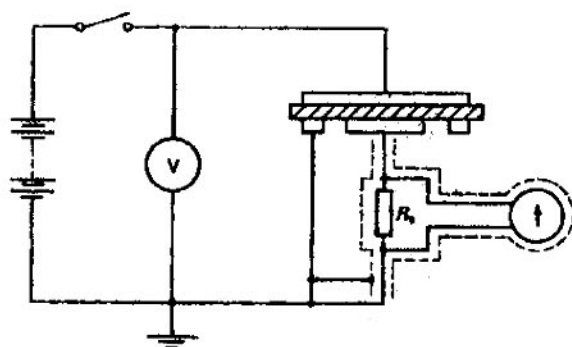
Hình 2 – Ví dụ về bố trí điện cực trên mẫu dạng phẳng



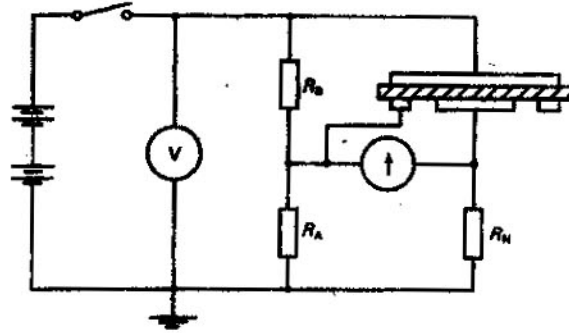
Hình 3 – Ví dụ về bố trí điện cực trên mẫu dạng ống



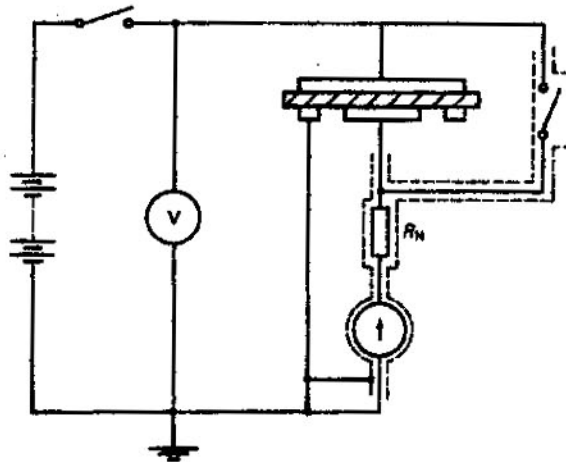
Hình 4 – Bố trí các điện cực bằng chất lỏng



Hình 5 – Phương pháp vôn mét – ampe mét sử dụng để đo điện trở khối.
Đối với phép đo điện trở bề mặt, đầu nối đến mẫu được thể hiện như trên Hình 1b



Hình 6 – Phương pháp cầu Wheatstone sử dụng để đo điện trở khối. Đối với phép đo điện trở bề mặt, đầu nối đến mẫu được thể hiện như trên Hình 1b



Hình 7 – Phương pháp ampe mét sử dụng để đo điện trở khối. Đối với phép đo điện trở bề mặt, đầu nối đến mẫu được thể hiện như trên Hình 1b