

## CƯỜNG ĐỘ ĐIỆN MÔI CỦA VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN

### L. I. Berger

Sự mất đi các đặc tính điện môi của một [vật liệu cách điện](#) dù ở thể khí, lỏng hay thể rắn do tác động của điện trường tới hạn được gọi là điện trường đánh thủng điện môi. Độ lớn của điện trường tới hạn mà tại đó vật liệu xảy ra đánh thủng được gọi là cường độ điện môi của vật liệu (hay điện áp đánh thủng, độ bền điện môi). Độ bền điện môi của vật liệu phụ thuộc vào độ dày của mẫu thử, hình dạng điện cực, tốc độ tăng điện áp đặt vào, hình dạng của điện áp so với đường cong thời gian và môi trường xung quanh mẫu.

#### Hư hại ở chất khí

Các hạt tải điện trong chất khí là các electron và ion tự do do bức xạ bên ngoài tạo ra. Nồng độ cân bằng của các hạt này ở áp suất bình thường là khoảng  $10^3 \text{ cm}^{-3}$ , và do đó độ dẫn điện rất nhỏ, theo thứ tự  $10^{-16} - 10^{-15} \text{ S/cm}$ . Nhưng trong một điện trường mạnh, các hạt này thu được động năng dọc theo chuyển động tự do của chúng, đủ lớn để ion hóa các phân tử khí. Các hạt mang điện mới ion hóa nhiều phân tử hơn; Quá trình giống như tuyết lở này dẫn đến sự hình thành giữa các điện cực của các kênh dẫn plasma (bộ truyền sóng), và điện trở của không gian giữa các điện cực giảm về gần như bằng không.

Bởi vì độ bền điện môi (điện áp đánh thủng) của khí phụ thuộc mạnh mẽ vào hình dạng điện cực và tình trạng bề mặt và áp suất khí, nên thường được chấp nhận để trình bày dữ liệu cho một loại khí cụ thể dưới dạng một phần nhỏ của độ bền điện môi của nitơ hoặc lưu huỳnh hexaflorua đo được ở cùng điều kiện. Trong Bảng 1, dữ liệu được trình bày so với độ bền điện môi của nitơ, được coi là bằng 1,00. Để thuận tiện cho người đọc, một vài cường độ trung bình của độ bền điện môi của một số chất khí được biểu thị bằng kilovolt trên milimét. Dữ liệu trong bảng liên quan đến các điều kiện tiêu chuẩn, trừ khi có chỉ định khác.

#### Hư hại ở chất lỏng

Nếu một chất lỏng là tinh khiết, cơ chế phân hủy trong nó tương tự như trong chất khí. Nếu một chất lỏng có chứa các tạp chất lỏng ở dạng giọt nhỏ có hằng số điện môi lớn hơn chất lỏng chính, thì sự phân hủy là kết quả của sự hình thành các ellipsoit từ những giọt này bởi điện trường. Trong một điện trường đủ mạnh, các ellipsoit này hợp nhất và tạo thành một kênh dẫn điện cao giữa các điện cực. Dòng điện làm tăng nhiệt độ trong kênh dẫn, chất lỏng sôi, dòng điện chạy dọc kênh hơi dẫn đến sự cố. Sự hình thành kênh dẫn (cầu nối) giữa các điện cực cũng được quan sát thấy trong chất lỏng có lẫn tạp chất rắn. Nếu một chất lỏng có chứa các tạp chất khí ở dạng bong bóng nhỏ, sự phân hủy là kết quả của sự đốt nóng chất lỏng trong điện trường mạnh. Ở những vị trí có mật độ dòng điện cao nhất, chất lỏng sôi lên, kích thước của bọt khí tăng lên, chúng hợp nhất và tạo thành các kênh khí giữa các điện cực, và môi trường đánh thủng lại là plasma khí.

#### Hư hại ở chất rắn

Biết rằng dòng điện trong vật liệu cách điện rắn không tuân theo định luật Ohms trong điện trường mạnh. Mật độ dòng điện tăng gần như theo cấp số nhân với điện trường, và ở một cường độ trường nhất định, nó nhảy lên cường độ rất cao mà tại đó mẫu thử vật liệu sẽ bị phá hủy. Hai loại sự cố điện được biết đến là sự cố nhiệt và sự cố điện. Trước đây là kết quả của quá trình đốt nóng vật liệu. Sự phá hủy mẫu vật liệu xảy ra khi ở một điện áp nhất định, lượng nhiệt do dòng điện sản sinh ra vượt quá sự tỏa nhiệt qua bề mặt mẫu thử; Điện áp đánh thủng trong trường hợp này tỷ lệ với căn bậc hai của tỷ số giữa độ dẫn nhiệt và độ dẫn điện của vật liệu.

Sự đánh thủng điện là kết quả của sự đào hầm của các hạt tải điện từ các điện cực hoặc từ vùng hóa trị hoặc từ các mức tạp chất vào vùng dẫn, hoặc do sự ion hóa va chạm. Sự phá vỡ hiệu ứng đường hầm xảy ra chủ yếu ở các lớp mỏng, ví dụ, ở các điểm nối pn mỏng. Nếu không, cơ chế ion hóa tác động sẽ chiếm ưu thế. Đối với cơ chế này, độ bền điện môi của chất cách điện có thể được ước tính bằng cách sử dụng phương trình động học của Boltzmann cho các electron trong tinh thể.

**Bảng 1**  
**Độ bền điện môi của khí**

Vật liệu	Độ bền điện môi		Vật liệu	Độ bền điện môi	
	Ref.	Đơn vị: kV/mm		Ref.	Đơn vị: kV/mm
<b>Nitrogen, N<sub>2</sub></b>	<b>1.00</b>		Trichlorofluoromethane, CCl <sub>3</sub> F	3.50	1
<b>Hydrogen, H<sub>2</sub></b>	0.50	1,2		4.53	2
Helium, He	0.15	1	Trichloromethane, CHCl <sub>3</sub>	4.2	1
<b>Oxygen, O<sub>2</sub></b>	0.92	2		4.39	2
Không khí	0.97	6	Methylamine, CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	0.81	1
<b>Không khí (điện cực phẳng), kV/mm</b>	<b>3.0</b>	<b>3</b>	Difluoromethane, CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0.79	2
Không khí, kV/mm	0.4-0.7	4	Trifluoromethane, CHF <sub>3</sub>	0.71	2
Không khí, kV/mm	1.40	5	Bromochlorodifluoromethane, CF <sub>2</sub> ClBr	3.84	2
Neon, Ne	0.25	1	Chlorodifluoromethane, CHClF <sub>2</sub>	1.40	1
	0.16	2		1.11	2
Argon, Ar	0.18	2	Dichlorofluoromethane, CHCl <sub>2</sub> F	1.33	1
Chlorine, Cl <sub>2</sub>	1.55	1		2.61	2
Carbon monoxide, CO	1.02	1	Chlorofluoromethane, CH <sub>2</sub> ClF	1.03	1
	1.05	2	Hexafluoroethane, C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	1.82	1
Carbon dioxide, CO <sub>2</sub>	0.88	1		2.55	2
	0.82	2	Ethyne (Acetylene), C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1.10	1
	0.84	6		1.11	2
Nitrous oxide, N <sub>2</sub> O	1.24	2	Chloropentafluoroethane, C <sub>2</sub> ClF <sub>5</sub>	2.3	1
Sulfur dioxide, SO <sub>2</sub>	2.63	2		3.0	6
	2.68	6	Dichlorotetrafluoroethane, C <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	2.52	1
Sulfur monochloride, S <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	1.02	1	Chlorotrifluoroethylene, C <sub>2</sub> ClF <sub>3</sub>	1.82	2
(at 12.5 Torr)			1,1,1-Trichloro-2,2,2-trifluoroethane	6.55	2
Thionyl fluoride, SOF <sub>2</sub>	2.50	1	1,1,2-Trichloro-1,2,2-trifluoroethane	6.05	2
<b>Sulfur hexafluoride, SF<sub>6</sub></b>	<b>2.50</b>	<b>1</b>	Chloroethane, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl	1.00	1
	2.63	2	1,1-Dichloroethane	2.66	2
<b>Sulfur hexafluoride, SF<sub>6</sub>, kV/mm</b>	<b>8.50</b>	<b>7</b>	Trifluoroacetonitrile, CF <sub>3</sub> CN	3.5	1
	9.8	8	Acetonitrile, CH <sub>3</sub> CN	2.11	2
Perchloryl fluoride, ClO <sub>3</sub> F	2.73	1	Dimethylamine, (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NH	1.04	1
Tetrachloromethane, CCl <sub>4</sub>	6.33	1	Ethylamine, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	1.01	1
	6.21	2	Ethylene oxide (oxirane), CH <sub>3</sub> CHO	1.01	1
Tetrafluoromethane, CF <sub>4</sub>	1.01	1	Perfluoropropene, C <sub>3</sub> F <sub>6</sub>	2.55	2
Methane, CH <sub>4</sub>	1.00	1	Octafluoropropane, C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	2.19	1
	1.13	2		2.47	2
Bromotrifluoromethane, CF <sub>3</sub> Br	1.35	1	3,3,3-Trifluoro-1-propene, CH <sub>2</sub> CHCF <sub>3</sub>	2.11	2
	1.97	2	Pentafluoroisocynoethane, C <sub>2</sub> F <sub>5</sub> NC	4.5	1
Bromomethane, CH <sub>3</sub> Br	0.71	2	1,1,1,4,4,4-Hexafluoro-2-butyne, CF <sub>3</sub> CCCF <sub>3</sub>	5.84	2
Chloromethane, CH <sub>3</sub> Cl	1.29	2	Octafluorocyclobutane, C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	3.34	2
Iodomethane, CH <sub>3</sub> I	3.02	2	1,1,1,2,3,4,4,4-Octafluoro-2-butene	2.8	1
Iodomethane, CH <sub>3</sub> I, at 370 Torr	2.20	7	Decafluorobutane, C <sub>4</sub> F <sub>10</sub>	3.08	1
Dichloromethane, CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	1.92	2	Perfluorobutanenitrile, C <sub>3</sub> F <sub>7</sub> CN	5.5	1
Dichlorodifluoromethane, CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	2.42	1	Perfluoro-2-methyl-1,3-butadiene, C <sub>5</sub> F <sub>8</sub>	5.5	1
	2.63	2,6	Hexafluorobenzene, C <sub>6</sub> F <sub>6</sub>	2.11	2
Chlorotrifluoromethane, CClF <sub>3</sub>	1.43	1	Perfluorocyclohexane, C <sub>6</sub> F <sub>12</sub> , (saturated vapor)	6.18	2
	1.53	2			

**Bảng 2**  
**Độ bền điện môi chất lỏng**

<b>Vật liệu</b>	<b>Độ bền điện môi kV/mm</b>	<b>Ref.</b>	<b>Vật liệu</b>	<b>Độ bền điện môi kV/mm</b>	<b>Ref.</b>
Helium, He, liquid, 4.2 K	10	9	Octane, C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	16.6	14
Tinh	10	11		20.4	15
Động	5	11		179	17,18
	23	12	Ethylbenzene, C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	226	17,18
Nitrogen, N <sub>2</sub> , liquid, 77K			Propylbenzene, C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	250	17,18
Điện cực hình trụ đồng trục	20	10	Isopropylbenzene, C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	238	17,18
Điện cực cầu đến mặt phẳng	60	10	Decane, C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	192	17,18
<b>Nước cất</b>	65-70	13	Butylbenzene, C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	275	17,18
Carbon tetrachloride, CCl <sub>4</sub>	5.5	14	Isobutylbenzene, C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	222	17,18
	16.0	15	Dầu Silicone —polydimethylsiloxanes,		
Hexane, C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	42.0	16	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> Si-O-[Si(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ] <sub>x</sub> -O-Si(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>		
Điện cực 2 hình cầu đường kính 1 inch, 50.8 □m space	156	17,18	Chất lỏng Polydimethylsiloxane silicone	15.4	20
Cyclohexane, C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	42-48	16	Dimethyl silicone	24.0	21,22
2-Methylpentane, C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	149	17,18	Phenylmethyl silicone	23.2	22
2,2-Dimethylbutane, C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	133	17,18	Dầu Silicone, Basilone M50	10-15	23
2,3-Dimethylbutane, C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	138	17,18	Dầu cách điện khoáng	11.8	6
Benzene, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	163	17,18	Dầu Polybutene cho tụ điện	13.8	6
Chlorobenzene, C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl	7.1	14	Chất lỏng điện môi máy biến áp	28-30	6
	18.8	15	Dầu tụ điện Isopropylbiphenyl	23.6	6
2,2,4-Trimethylpentane, C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	140	17,18	Dầu máy biến áp	110.7	24
Phenylxylethane	23.6	19	Dầu máy biến áp Agip ITE 360	9-12.6	23
Heptane, C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	166	17,18	Perfluorinated hydrocarbons		
2,4-Dimethylpentane, C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	133	17,18	Fluorinert FC 6001	8.0	23
Toluene, C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	199	17,18	Fluorinert FC 77	10.7	23
	46	16	Perfluorinated polyethers		
	12.0	14	Galden XAD (Mol. wt. 800)	10.5	23
	20.4	15	Galden D40 (Mol. wt. 2000)	10.2	23
			Dầu cây thầu dầu	65	25

**Bảng 3**  
**Độ bền điện môi chất rắn**

Độ bền điện môi			Độ bền điện môi		
Vật liệu	kV/mm	Ref	Vật liệu	Độ bền điện môi kV/mm	Ref.
<b>Muối tinh NaCl, crystalline</b>	150	26			
Muối Potassium bromide, KBr, crystalline	80	26			
<b>Gốm sứ</b>					
Alumina (99.9% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	13.4	6,27a			
Aluminum silicate, Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>	5.9	6			
Berillia (99% BeO)	13.8	6,27b			
Boron nitride, BN	37.4	6			
Cordierite, Mg <sub>2</sub> Al <sub>4</sub> Si <sub>5</sub> O <sub>18</sub>	7.9	6,27c			
Forsterite, Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	9.8	28			
Porcelain	35-160	26			
Steatite, Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>11</sub> •H <sub>2</sub> O	9.1-15.4	6			
Titanates of Mg, Ca, Sr, Ba, and Pb	20-120	3			
Barium titanate, glass bonded	>30	36			
Zirconia, ZrO <sub>2</sub>	11.4	29			
<b>Thủy tinh</b>					
Fused silica, SiO <sub>2</sub>	470-670	26			
Alkali-silicate glass	200	26			
Standard window glass	9.8-13.8	28			
Mica trắng, ruby tự nhiên	118	6			
			Mica Magie, hồ phách tự nhiên	118	6
			Fluorophlogopite,	118	6
			Mica tổng hợp dán kính	14.0-15.7	6
<b>Polymers nhựa nhiệt dẻo</b>					
Polypropylene	23.6	6			
Amide polymer nylon 6/6, dry	23.6	6			
Polyamide-imide copolymer	22.8	6			
Modified polyphenylene oxide	21.7	6			
Polystyrene	19.7	6			
Polymethyl methacrylate	19.7	6			
Polyetherimide	18.9	6			
Amide polymer nylon 11(dry)	16.7	6			
Polysulfone	16.7	6			
Styrene-acrylonitrile copolymer	16.7	6			
Acrylonitrile-butadiene-styrene	16.7	6			
Polyethersulfone	15.7	6			
Polybutylene terephthalate	15.7	6			
Polystyrene-butadiene copolymer	15.7	6			
Acetal homopolymer	15.0	6			
Vật liệu	Độ bền điện môi kV/mm	Ref.	Vật liệu	Độ bền điện môi kV/mm	Ref.
Polyphenylene sulfide	15.0	6	Glass-filled melamine (Type MMI-30 per MIL-M-14G)	13.4	6
Polycarbonate	15.0	6	Extrusion Compounds for High-Temperature Insulation		
Acetal homopolymer resin (molding resin)	15.0	6	Polytetrafluoroethylene	19.7	6
Acetal copolymer resin	15.0	6	Perfluoroalkoxy polymer	21.7	6
Thermosetting Molding Compounds			Fluorinated ethylene-propylene copolymer	19.7	6
Glass-filled allyl (Type GDI-30 per MIL-M-14G)	15.7	6	Ethylene-tetrafluoroethylene copolymer	15.7	6
Glass-filled epoxy, electrical grade	15.4	6	Polyvinylidene fluoride	10.2	6
Glass-filled phenolic (Type GPI-100 per MIL-M-14G)	15.0	6	Ethylene-chlorotrifluoroethylene copolymer	19.3	6
Glass-filled alkyd/polyester (Type MAI-60 per MIL-M-14G)	14.8	6	Polychlorotrifluoroethylene	19.7	6
			Extrusion Compounds for Low-Temperature Insulation		

### Bảng 3 Độ bền điện môi chất rắn

Công ty CP Thiết bị điện Hàn Quốc  
 Địa chỉ: 28, lô BT4, Bán đảo Linh Đàm, Hoàng Mai, Hà Nội  
 Điện thoại/ Fax: 0243.664.8242  
 Website: <https://capdienhanquoc.vn/>

<b>PVC (Polyvinyl clorua)</b>					
Dẻo	11.8-15.7	30			
Cứng	13.8-19.7	30			
<b>PE (Polyethylene)</b>	18.9	28			
Polyethylene, mật độ thấp	21.7	6			
	300	31			
Polyethylene, mật độ cao	19.7	6			
Polypropylene/polyethylene copolymer	23.6	6			
<b>Hợp chất nhúng</b>					
Nhựa epoxy cơ bản:	19.7	6			
bisphenol-A/epichlorohydrin polycondensate					
Cycloaliphatic epoxy: alicyclic diepoxy carboxylate	19.7	6			
Polyetherketone	18.9	30			
Polyurethanes					
2 thành phần, làm khô polyol	25.4	6			
2 thành phần không dung môi, Gốc polybutylene	24.0	6			
<b>Silicones</b>					
Nhựa nhúng Silicones đóng rắn 2 lần trong suốt	21.7	6			
<b>Sơn cách điện màu đỏ (MIL-E-22118)</b>					
Khô	47.2	6			
Ấm	11.8	6			
<b>Sơn</b>					
Sơn đỏ khô nhanh					
Điều kiện tiêu chuẩn	78.7	6			
Điều kiện ngâm tẩm	47.2	6			
Sơn đen					
Điều kiện tiêu chuẩn	70.9	6			
Điều kiện ngâm tẩm	47.2	6			
			<b>Vecni</b>		
			Vecni tẩm áp suất chân không, sơn bóng polyester không dung môi		
			Cứng, 2 thành phần	70.9	6
			Thixotropic liên kết cao, bán linh hoạt	78.7	6
			Rigid high-bond high-flash freon-resistant	68.9	6
			Baking type epoxy varnish		
			Không dung môi, cứng, độ nhớt thấp 1 thành phần	90.6	6
			Không dung môi, bán linh hoạt, 1tp	82.7	6
			Không dung môi, bán linh hoạt, kháng hóa chất, hằng số điện môi thấp	106.3	6
			Solvable, for hermetic electric motors	181.1	6
			<b>Lớp phủ Polyurethane</b>		
			Clear conformal, khô nhanh		
			Điều kiện chuẩn	78.7	6
			Điều kiện ngâm tẩm	47.2	6
			<b>Băng dán và phim cách điện</b>		
			Phim polyethylene mật độ thấp (40 µm thick)	300	31
			Phim Poly- <i>p</i> -xylylene	410-590	32
			Phim Aromatic polymer		
			Kapton H (Du Pont)	389-430	33
			Ultem (GE Plastic and Roem AG)	437-565	33
			Hostaphan (Hoechst AG)	338-447	33
			Amorphous Stabar K2000 (ICI film)	404-422	33
			Stabar S100 (ICI film)	353-452	33
			Phim Polyetherimide (26 µm)	486	34
			Phim Parylene N/D (poly- <i>p</i> -xylylene/poly-dichloro- <i>p</i> -xylylene) 25 µm	275	6
			Phim Cellulose acetate	157	6
			Phim Cellulose triacetate	157	6
			Phim Polytetrafluoroethylene	87-173	6
			Phim Perfluoroalkoxy	157-197	6
			Phim Fluorinated ethylene-propylene copolymer	197	6
			Phim Ethylene-tetrafluoroethylene	197	6
			Phim Ethylene-chlorotrifluoroethylene copolymer	197	6
			Phim Polychlorotrifluoroethylene	118-153.5	6
			Băng cách điện cao su điện cao thế	28	6
			<b>Các chất cách điện khác</b>		
			Cao su tự nhiên	100-215	26
			Cao su Buty	23.6	6
			Neoprene	15.7-27.6	6
			Cao su Silicone	26-36	6
			Cao su Silicone lưu hóa nhiệt độ phòng	9.2-10.9	35
			Ureas (from carbamide to tetraphenylurea)	11.8-15.7	28
			<b>Giấy cách điện</b>		
			Giấy Aramid, được cuộn ép	28.7	6
			Giấy Aramid không cuộn ép	12.2	6
			Aramid với Mica	39.4	6

## REFERENCES (GIỚI THIỆU)

1. Vijn, A. K. *IEEE Trans.*, EI-12, 313, 1997.
2. Brand, K. P., *IEEE Trans.*, EI-17, 451, 1982.
3. *Encyclopedic Dictionary in Physics*, Vedensky, B. A. and Vul, B. M., Eds., Vol. 4, Soviet Encyclopedia Publishing House, Moscow, 1965.
4. Kubuki, M., Yoshimoto, R., Yoshizumi, K., Tsuru, S., and Hara, M., *IEEE Trans.*, DEI-4, 92, 1997.
5. Al-Arainy, A. A. Malik, N. H., and Cureshi, M. I., *IEEE Trans.*, DEI-1, 305, 1994.
6. Shugg, W. T., *Handbook of Electrical and Electronic Insulating Materials*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1986.
7. Devins, J. C., *IEEE Trans.*, EI-15, 81, 1980.
8. Xu, X., Jayaram, S., and Boggs, S. A., *IEEE Trans.*, DEI-3, 836, 1996.
9. Okubo, H., Wakita, M., Chigusa, S., Nayakawa, N., and Hikita, M., *IEEE Trans.*, DEI-4, 120, 1997.
10. Hayakawa, H., Sakakibara, H., Goshima, H., Hikita, M., and Okubo, H., *IEEE Trans.*, DEI-4, 127, 1997.
11. Okubo, H., Wakita, M., Chigusa, S., Hayakawa, N., and Hikita, M., *IEEE Trans.*, DEI-4, 220, 1997.
12. Von Hippel, A. R., *Dielectric Materials and Applications*, MIT Press, Cambridge, MA, 1954.
13. Jones, H. M. and Kunhards, E. E., *IEEE Trans.*, DEI-1, 1016, 1994.
14. Nitta, Y. and Ayhara, Y., *IEEE Trans.*, EI-11, 91, 1976.
15. Gallagher, T. J., *IEEE Trans.*, EI-12, 249, 1977.
16. Wong, P. P. and Forster, E. O., in *Dielectric Materials. Measurements and Applications*, IEE Conf. Publ. 177, 1, 1979.
17. Kao, K. C. *IEEE Trans.*, EI-11, 121, 1976.
18. Sharbaugh, A. H., Crowe, R. W., and Cox, E. B., *J. Appl. Phys.*, 27, 806, 1956.
19. Miller, R. L., Mandelcorn, L., and Mercier, G. E., in *Proc. Intl. Conf. on Properties and Applications of Dielectric Materials*, Xian, China, June 24-28, 1985; cited in Ref. 6, p. 492.
20. Hakim, R. M., Oliver, R. G., and St-Onge, H., *IEEE Trans.*, EI-12, 360, 1977.
21. Hosticka, C., *IEEE Trans.*, 389, 1977.
22. Yasufuku, S., Umemura, T., and Ishioka, Y., *IEEE Trans.*, EI-12, 402, 1977.
23. Forster, E. O., Yamashita, H., Mazzetti, C., Pompini, M., Caroli, L., and Patrissi, S., *IEEE Trans.*, DEI-1, 440, 1994.
24. Bell, W. R., *IEEE Trans.*, 281, 1977.
25. Ramu, T. C. and Narayana Rao, Y., in *Dielectric Materials. Measurements and Applications*, IEE Conf. Publ. 177, 37.
26. Skanavi, G. I., *Fizika Dielektrikov; Oblast Silnykh Polei* (Physics of Dielectrics; Strong Fields). Gos. Izd. Fiz. Mat. Nauk (State Publ. House for Phys. and Math. Scis.), Moscow, 1958.
27. Kleiner, R. N., in *Practical Handbook of Materials Science*, Lynch, C. T., Ed., CRC Press, 1989; 27a: p. 304; 27b: p.300; 27c: p. 316.
28. *Materials Selector Guide. Materials and Methods*, Reinhold Publ., New York, 1973.
29. Flinn, R. A. and Trojan, P. K., *Engineering Materials and Their Applications*, 2nd ed., Houghton Mifflin, 1981, p. 614.
30. Lynch, C. T., Ed., *Practical Handbook of Materials Science*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1989.
31. Suzuki, H., Mukai, S., Ohki, Y., Nakamichi, Y., and Ajiki, K., *IEEE Trans.*, DEI-4, 238, 1997.
32. Mori, T., Matsuoka, T., and Muzitani, T., *IEEE Trans.*, DEI-1, 71, 1994.
33. Bjellheim, P. and Helgee, B., *IEEE Trans.*, DEI-1, 89, 1994.
34. Zheng, J. P., Cygan, P. J., and Jow, T. R., *IEEE Trans.*, DEI-3, 144, 1996.
35. Danukas, M. G., *IEEE Trans.*, DEI-1, 1196, 1994.
36. Burn, I. and Smithe, D. H., *J. Mater. Sci.*, 7, 339, 1972.

### Review Literature on the Subject

- R1.Kuffel, E. and Zaengl, W. S., *HV Engineering Fundamentals*, Pergamon, 1989.
- R2.Kok, J. A., *Electrical Breakdown of Insulating Liquids*, Phillips Tech. Library, Cleaver-Hum, Longon, 1961.
- R3.Gallagher, T. J., *Simple Dielectric Liquids*, Clarendon, Oxford, 1975.
- R4.Meek, J. M. and Craggs, J. D., Eds., *Electric Breakdown in Gases*, John Wiley & Sons, 1976.
- R5.Von Hippel, A. R., *Dielectric Materials and Applications*, MIT Press, Cambridge, MA, 1954.

Tham khảo