

内部交流材料

请批评、请指教

固体电介质中的电荷储存

——关于驻极体及其相关效应的文献评论

B·格罗斯著

南京工学院

一九七六年十二月

译 者 的 话

书是据B·洛罗斯所著“固体介质中的电荷储存”一书翻译而书是从驻极体问世以来至1964年40多年间世界各国对驻极体文献的摘录汇编而成。该书简明扼要,系统全面,对开展驻极体研究提供了一个很好索引工具。尽管自1964年至今又有十年,驻极体亦已从实验室研究走向实际应用,但这本书对于我开展的驻极体研制工作仍具有一定的意义。为此,我们将翻译,有关单位参考。

查阅方便起见,我们将全书分为两部分,文摘译文刊在前面,原书附在后面。供查阅原文的读者参考。原书中有关作者姓名的因对本书影响不大,故略去。查阅举例如下,

C: W/8/1 驻极体

C: W/8/1 ELECTRET Sato, M Tohoku

university science Reports

11 , 159(1972)

翻译,刊印过程中得到了南京工学院二、三、四、六、七系单位的帮助,南工图书馆,南工印刷厂的大力支持在此表示哀

组人手少,水平低,书中错误在所难免,敬请读者不吝指正。

南京工学院驻极体小组

1977.5.于南京

内 容

引言	1—2
概论	3—24
一、表面电荷与空间电荷的测量方法。可分电容器	
二、无外场时的静电荷	
1. 概况。接触起电	
2. 相变。温度介电效应	
3. 热电性。压电性	
三、等温场效应	
A 表面效应	
1. 利希腾贝格图形和表面静电荷	
2. 表面击穿和噪声	
3. 应 用	
B 体积效应	
1. 概况。书和评论	
2. 介质传导与极化的机理	
3. 介质吸收	
四、电场—温度效应。热驻极体	
1. 概况。书和评论	
2. 亥维赛和江口的工作	
3. 同号电荷	
4. 噪 声	

5. 非等温吸收和异号电荷 -----
6. 驻极体的两种电荷理论 -----
7. 切片技术和电荷分布 -----
8. 影响驻极体行为的因素 -----
9. X射线研究和辐射效应 -----
10. 塑料驻极体 -----
11. 无机驻极体 -----
12. 其它 -----
13. 应用 -----

五、电场—辐射效应。光驻极体 -----

1. 概况。书和评论 -----
2. 硫和葱的光导性 -----
3. 光驻极体的性质 -----
4. 采用光驻极体的静电照相 -----
5. 持久内部极化 -----
6. 贯穿辐射效应。辐射驻极体 -----

六 无电场时的辐射效应 -----

1. 概 况 -----
2. 采用电子轰击储存电荷 -----
3. γ 辐射效应 -----

文 献 -----

电荷能够储存在电容器中。在理想的情况下，正如麦克斯韦理论所考虑的那样，电荷是留在平板上的；电荷的场将电介质极化，极化与场一起存在。即，电介质既不维持持久极化，也不维持永久的表面电荷或者空间电荷。实际上，对于固体电介质，下面这种情况从来不会出现：电介质中存在着电荷，而极化并不与场一起存在。对于电容器的应用来说，这些是不好的效应，要尽可能减到最小。但是，对于电容器之外的应用，也许希望它们有最大值；此外，在电介质特性和结构的理论上，这些方面也是非常有趣的。因此，就引导人们去研究固体电介质中有关电荷储存和持久极化的问题。

具有持久介质体极化的电介质物体和永磁体类似。亥维赛在他的理论性论文中，讨论了它们的性质，并称之为驻极体。江口元太郎将某些电介质加热到超过其熔点，继而在外加电场的作用下将它们冷却，从而制备了行为象驻极体的电介质物体。组合电，热处理而制得的驻极体，现在称之为熟驻极体。

那得恰可夫以及后来的卡耳曼发现，对于某些物体，热刺激能用光和其它的辐射刺激来代替。例如用可见光照射硫，同时用电场供电，在辐照停止后卸除电场，就会产生持久极化。这种物体现在称之为光驻极体。在贯穿辐照刺激下制成的，现在称之为辐照驻极体。

在许多固体电介质中，只要加上电场，甚至无须加热刺激或辐射刺激就会产生持久电荷和持久极化，虽然其性质不那么耐久。这些效应，长期来看作是介质吸收，在极化电压卸除之后很久，还显示出短路电流和开路电压。格罗斯详细地研究了它们与驻极体效应的关系。人们采用电驻极体的名称，将它们与室温下极化的电介质的电荷储存

性质连系起来。

关于这方面，必须提出铁电体。在酒石酸钾钠、钛酸钡和其它物体中的铁电状态也是只用电场产生的。铁电物质的剩余极化类似于铁磁物质的剩余磁性。极化的铁电体在亥维赛的定义上可以正确地称之为驻极体。但是，铁电性已经发展成独立的领域，它完全超出了本文研究的范围。

这些驻极体在本质上是体积效应，而面电荷则是由电介质—电极表面之间的表面击穿或直接传导产生的。在适当的条件之下，它们与体电荷一样持久，而且对于很多实际应用已经变得重要的了。它们的研究导致一个普遍的问题，即有关电介质和半导体中的表面状态问题，现在这些问题已受到很大的注意，但又超出了本文的范围。

不加外电场时，表面电荷可由接触起电和摩擦产生。

还有一些其它的效应，它们无须由施加外场而充电、极化。它们是由一个系统的物理参数，如相、温度、压力的变化而引起的。电介质的有序凝固产生温度介电效应，即在相界面上的电荷分离和空间电荷的冻结。将某些晶体电介质，特别是电气石加热，就产生热电效应；压力改变能产生压电效应。两者与体极化的改变有关。

最后，人们能够用带电粒子轰击，或用 α 辐射经次级康普顿电子将永久电荷注入电介质中。这种贯穿辐射效应在技术上正在变得越益重要了。

近来，已经出现了几本有关驻极体的书和书目提要。但是，驻极效应只是表示了固体中电荷储存的一个方面。本文企图根据一般的观点来考虑这个现象的不同方面，在这个更广阔的范围内强调它们的共同特征和相互关系以及驻极体机理的地位。为此目的，而且鉴于该学科范围的广泛，报导必须是有选择的和批判性的。

概 论

一、面电荷与空间电荷的测量方法 可分电容器

电介质在电流通过之后的总电荷，可以利用将电介质物体放入法拉第杯中来确定 (Smith 1955, B/2; Boer 1961); 也曾用过类似的方法来确定空间电荷的分布 (Jaeger 1934, IV/7)。感应板法是经过改变的方法，这个方法把电介质由部分可动导体复盖着，留在电介质中的电荷的场在导体中感应出面电荷，该电荷由导体与测电荷装置连结起来，并将导体从电介质移开来加以测量。具有这些特征的装置就是可分电容器，它首先是由 B. 夫兰克林描述的 (Aldrich 1927; Gross 1944; Zeleny 1944)。它曾被用于测量接触电位 (Lanase 1933)，静电表面电荷 (Gross 1950; Tyler 1955)，研究驻极体 (Feast 1952)，以及在绝缘体和半导体中的表面状态 (Shao 1959; Seiwafz 1959; Primachenko 1961)。该方法的理论曾有几位作者讨论过 (Gross 1949, 1950; Gubtun 1959)。已经指出，将电荷与电流测量连系起来能给出有关电介质体积分效应与表面效应的详细资料，而单独测量电荷或电流就不能提供这些知识。人们也曾研究过电介质和可动导体之间气隙的效应，以及电荷由于击穿和场发射通过气隙的迁移过程 (Schaeffer 1962)。可分电容器的变型是动力型电容器，在这种电容器中，金属板不能整个离开电介质，而是作振动 (Zisman 1932; Freedman 1950; Bryla 1962); 这样，就产生了容易测量的交流电压。另一类变种是旋转探极电计 (Devins 1957)，它用很小的金属探极在电介质上扫描，从而指示出电介质表面的面电荷图案。反过来，电介质也可以在很小的测量电极下移动 (Croitoru 1959)。近来也用电子束方法测

量面电荷密度 (Zakirova 1958; Murray 1962); 脉冲束打在电介质上, 用探测电极来测量面电荷的散布和衰减。也曾用过一种类似的方法来研究通过绝缘体的电子流 (Nelson 1963)。

曾利用电位探极 (Authelet 1955), 和观察克尔效应 (Croitor 1960) 来测量电介质内部的电位分布和电荷分布。但是这些方法不能显示均匀体极化的存在; 在 1V/7 中讨论了切片方法, 该方法不受上述缺点的影响。

电介质的电荷或极化可由短路释放, 并由对放电或退极化电流积分而测量出来。这种电流测量技术在 B/3 中讨论。

二、无外电场时的静电荷

1. 一般情况。接触电极化

静电电极化是固体充电的最古老的方法。由接触产生的面电荷和伏打电势和利用外场得到的一样高, 而且能长期保持, 如用起电盘实验所证明的那样。 (Schmidt 1918) 如在驻极体中, 最大可测的电荷密度是由放电之前决定的。在这个领域中的文献虽是很庞大的, 但定量的方法和理论只是最近才发展起来。在这一章只给出少量精选的参考资料。其中包括一些书籍和有关静电极化的一般性文摘 (Loeb 1958; Montgomery 1959; Loeb 1962)。有关接触电极化的近期论文 (Vick 1953; Hapke 1953, 1955, 1957, 1961), 有关驻极化效应的论文 (Nakayama 1927) 以及金属——绝缘体接触问题 (Peterson 1954; Wagner 1956)。参考资料也涉及由温度梯度引起的绝缘体的接触充电 (Bowles 1961)。

2. 相变。电介质温度效应

与雷电的研究有关, 人们发现白霜的形成和水的有序冻结总是伴

随着相界面上电荷的分离。(Findelsen 1940; Dinger 1946)。对淡水溶液的系统观察(Workman 1948, 1950; Schaeffer 1950)指出会产生几百伏特的电位差,它不可能归结为接触电势。利用“冻结的”空间电荷分布,已经提出了定量的解释(Gi|| 1952, 1953)。有几位作者独立地报告了有关“冰—电性”的类似的观察(Clay 1947, Becker 1949; Lucder 1951)。有几位作者研究了淡水溶液中由于冻结而分离出冰块机理(Bri|| 1955; Lodge 1956)。也研究了伴随着温度梯度的电荷迁移效应(Reynolds 1957; Latnam 1961)。特别是发现了在低温下,温度梯度能够在电介质—金属表面之间引起充电(Mo|| 1956)。有几篇主要涉及雷电的文摘讨论了这个问题。(Reynolds 1954; Brook 1958; Latnam 1962)。

冰的电性是作为一般的“温度—电介质”效应的特殊情况而出现的(Costa Ribeiro 1945),亦即当电介质有序固化和溶化时会产生可逆的电流。电流强度正比于相变化率(Costa, Ribeiro 1950),而且观察到瞬变效应。(Prado 1946, 1947)。已经发展出有趣的在单晶上测量的技术(Mascarenhas 1959)。该效应的详细的唯象理论是假定在相界面上电荷的分离服从比率过程定律,即在固体沉淀物中“冻结的”空间电荷的形成过程,结果产生了宏观的空间电荷场(Gross 1953, 1954)。在结晶时形成有规则的排列也可用同一效应加以解释(Krause 1953, 1956)。

3. 热电性。压电性

32种晶体对称性中有10种是有极性的,因此由于电偶极子排成一行,在没有外场时也有电极化。由于电偶极矩与温度有关,温度的变化就引起极化的变化。这能够用感应板方法测量电荷来加以确定

(Meissner 1928) 或者由测量瞬时电流来确定 (Chynoweth 1956)。在静电条件下由于晶体表面上的极化电荷被自由离子电荷补偿了, 而不能测得电极化。热电效应的这种两类电荷的理论 (Rea K. 1918) 类似于驻极体的两类电荷理论 ($1V/6$); 在两种情况下的测量技术是类似的。人工热电和压电物体能够利用创造“冻结”极化的方法产生 (Meissner 1928)。驻极体也表现出这两种效应 (Williams 1939; Clegg 1947)。唯象理论 (Gubkin 1960) 根据由机械形变引起体极化的改变从而解释了驻极体的压电性。这个领域的很多进一步的参考资料包含在概论性文章中 (Mez: 1962), 它们实际上是属于本书范围以外的。

作为一种独立的效应, 发现有机化合物在交流或直流电场中凝固时会发生介电常数的改变 (McMullen 1956)。

三 等温场效应

A. 表面效应

1. 利希腾贝格图形和静电面电荷

电荷由于离子电晕和击穿迁移到电介质的表面上, 从而形成静电表面电荷图案。利用利希腾贝格图形能看到它们。这些图形可以解释放电的初始现象 (Mez: 1939), 并且给出表面电荷分布的图案 (Thoms 1951)。电荷的分布能用旋转探极电计定量地揭示出来 (Reynolds 1959, 1960)。结果指出, 电介质充电是不均匀的, 而且可以找到相邻的极性相反的斑点。人们曾用可分电容器研究了聚合物上表面电荷的产生及其行为 (Gross 1950); 在低湿度条件下, 这些电荷能在几个月内保持不变。在充了电的电容器中出现的金属—电介质和电介质—电介质表面之间的电荷迁移, 当空气隙厚度超过 10

微米时，可以用一种考虑到电场的分布和由巴斯陈曲线给出的初始击穿电压的理论满意地加以解释。对于很小的空气隙，人们已发现只由气体电子学解释是不够的，必须考虑场发射效应 (Schadler 1962)。电荷从金属板向电介质表面迁移而引起的电荷是造成驻极体同号电荷的原因 (Mitsuo 1917, 1V/3)。它们用于静电复制技术之中 (川/A/1)。

2. 表面击穿和噪声

应用于电容器结构的固体电介质物质通常含有空隙；在电介质和电容器板之间可以找到类似的空隙。在足够高的交、直流电压下，在这些空隙中会出现放电，造成电介质物质的变质，缩短电容器的寿命。这会使表面电荷沉积在空隙的壁面上，其电场会迭加在外场之上，从而影响了放电的过程 (Whithead 1951; Harris 1953)。已经做成了放电检测器可用来测量在交流电下的噪声；为此目的，电容器放在桥路中，桥路对低频外电压是平衡的，而高频噪声依旧是不平衡的 (Whithead 1951)。对于直流，随着电压的加接、反向、卸除，观察到噪声 (Boyer 1950; Baus 1952)。这个效应也能用空隙放电来解释 (Mason 1951; Reynolds 1956)。噪声在一段时间后后会衰减，表明它与接电后场的瞬时增强有关。

3. 应用

虽然长期以来静电表面电荷的研究主要还在学院之内，但近来已经有了很多应用。

静电发电机：已经发展了两种类型的发电机。在用于粒子加速的发电机中，电荷在低电压下喷射到高绝缘的运动皮带上或转盘上，并输送到高压端参变机 (Trump 1933; Denbois 1961; Gignoux 1961)，根据电容变化的原理运转（象可分电容器那样），并采用了

运动的导体节片 (Conductor Segments)。在好几本书中可以找到有关的操作和结构的描述 (Neubert 1954; Fick 1957)。还有一些有关这些机械理论的讨论 (Simon 1954; Subbari 1962)。

静电印象复制：一种方法是利用气体放电或场发射效应将静电荷在黑暗中转移至光导体的表面上 (Casson 1955; Walup 1958, 1960)。在光照下电荷与光强成正比的泄漏。用这种方法产生出静电印象。用附着在带电金属碎片上的粉末喷射表面就可以显象 (Young 1954)。在概论性文章中可以找到有关这方面的说明和其它的方法 (Dessauer 1961; Welch 1961; Reinfrank 1962)。

静电记录：利用喷雾电极或电子束将电荷图案喷射到电介质带或鼓轮上 (Grey 1940; Anderson 1955, 1957; Richardson 1962)。利用感应方法就能进行阅读。

热塑记录：利用喷射电极或电子束将电荷图案转移到由热塑材料制成的电介质膜片上；加热电介质使它在静电力作用下变形而转变成潜象。结果印象被冻结。(Gill 1959; Electronics 1962; Electronics 1963)。

印象放映系统：将电荷图案转移至粘性的电介质膜片上。膜片由于静电力受到形变而形成潜象。在放映系统中使之成为可见的。短时间后，电荷泄漏和恢复的粘滞力就消除了这个印象。因此该系统能用于电影或电视放映 (Bannan 1953, 1960)。

静电记忆装置：信息以电荷的形式储存在电介质表面上。利用电子枪来读出和使用。这种装置已经在计算机中得到应用 (Dodd 1950; Rajaman 1951)。

静电空气过滤器：过滤器由合适的电介质材料制成，它在空气流

中因摩擦而带电，并收集灰尘粒子 (Orman 1952)。

B. 体积效应

1. 概况。书和评论

麦克斯韦理论用两个参数表征电介质的行为，即介电常数和电导率；相应地，电介质极化和外场同时存在，而永久极化和空间电荷效应排除在外。在实际上，电介质行为要复杂得多，而且出现各种各样的极化和空间电荷效应。为了解释它们必须有详细的电介质理论和有关分子结构的完备的知识。在这个领域中所包含的大量文献远远超出了本书的范围。本节中的某些一般性文章包含后面更专门的理论和实验背景材料。它们包含：一般性的论文和书 (Frohlich 1949; Bocciaferri 1952; Brown 1956); 电介质极化和分子结构 (Beynon 1929; Smyth 1955); 各种极化机理的论述 (Kautmann 1942; Manning 1940; Kallmann 1962; Hetsch 1962); 电介质和电容器的电学原理 (Germann 1930; Renne 1959; Dummer 1960)。

2. 电介质导电和极化的机理

持久的空间电荷和极化可以由很多在物理上是不同的机理引起。

晶面之间的极化：人们发现结构中的宏观或微观杂质与不良导电的表面层或嵌入非导电母体中的导电粒子有关（或反之）。它们引起用双层电介质观察到的同样的效应，即界面间充电和在两介质中不同的极化，且与时间有关 (Wagner 1914; Ingram 1961, III B/1)。

宏观离子极化：这是电介质整体的极化，它是由电荷粒子宏观迁移引起的，结果形成空间电荷。就载流子发生于电介质自身而言，它是内部效应。在电极附近空间电荷云的直接证据在早期由切片技术得

到 (Joffe 1928, III B/1)。固体中离子导电的定量理论 (Joffe, 1933; MacDonald 1955)。考虑到离子的移动性, 离子的扩散和复合, 以及在电极上的阻挡层。人们仔细讨论了电极的作用。已经发展出有单一阻挡层和二个阻挡层电极的理论 (MacDonald 1958, 1959)。并已经着手在实验上研究各种电极的行为 (Boer 1962)。

空间电荷层的运动: 由于固体中空间电荷层的产生和移动可能会出现极化和电流反转的特殊情况 (Schumann 1932, 1933)。原来是从纯理论观点来看的这种情况。由于带电粒子轰击引起载流子注入的可能性, 现在在实验上已经遇到了 (V1/2)。运动的空间电荷区也可以由场发射而引起 (Adirovich 1959)。

微观的离子或电子极化: 这是内部的体积型极化, 它是由电荷载流子的微观位移引起的。在离子导电的情况下, 当电势由于离子非接受热能克服的缺陷而呈现不规则分布的峰值时就会发生这种极化 (Gevens 1946)。对于电子导电来说, 类似的情况似乎占优势。绝缘体的能带结构研究指出在整个晶体的能级中出现电位的很大的不规则性 (Nannier 1949; Chynoweth 1954)。也已经证明在很多系统中, 陷阱也许分布在很广的能量区域中 (Randall 1945)。

偶极子效应: 永久偶极子的体积极化理论 (Debye 1929); III B/1; Froelich 1949, III B/1) 指出外加电场与极化电场之间存在时滞, 结果出现长时间极化效应, 这在交流和直流是一样的。也出现一种不必依赖于永久偶极子的偶极子效应。偶极子或离子元与个别分子结构有联系。在“热”势阱与永久势阱之间振荡 (Gazton 1946), 或者在平衡态之间离子或电子的往返跃迁 (Fuchs 1960, 1961), 已被证明为相当于偶极矩的倒转, 并且对长期观察来说相当

于反常的巨大的可极化性。缺陷的扩散能这样来影响弛豫过程，就是立即在一个邻近分子弛豫以后分子的弛豫也许比任何其它时间更易发生 (Garum 1961)。

空间电荷限制的电流：来自电极的载流子的注入在一定的条件下能使相当高的电流通过绝缘体。这些电流是象在热离子二极管中那样受到空间电荷的限制。在电流通过后，有负的空间电荷留在后面 (Smit 1955; Many 1962; Boer era 1962)。已经观察到很大的退极化电流 (Ca zdon 1962)。已经发展出非阻挡的金属电极的技术 (Boer 1962)。该效应的理论也已建立 (Many 1962)，并且也广泛地评论了一种载流子和两种载流子的容量受限的注入电流基本原理 (Lampe zt 1962)。

光电导中的空间电荷：光电流与各种空间电荷效应有关 (KaminKer 1940)，其系统的研究只是最近才开始。在大量自由载流子产生以外，电极效应和载流子注入具有明显的重要性 (Moore 1960)。制作可电介的、透明的、无阻挡的电极 (Kallmann 1959) 就可能用来研究电子和空穴的注入和表面控制体电导 (Kallmann 1960, 1962; Pope 1962; Stoekmann 1961)。考虑到光的作用，载流子的热发性、和外电场影响的详细理论已经列出公式 (Aidirovich 1961)。有关硫和葱的暗电导和光电导的某些进一层的论文可参考 V/1。

玻璃中的导电机理：连系到电子辐射效应，这问题是有趣的 (V1)。电子流被迫通过玻璃 (Rohatgi 1957; Nilson 1963, 1); 并且已发现，来自金属电极的电子的产生是重要的 (Muray 1962)。进一步的参考可在广泛的文献中找到 (Kepplo 1961)。

3. 电介质的吸收

前几节中所列的机理产生了所谓电介质的吸收，后效或异常行为的模式。吸收表现在交流和直流中，但现在考虑的范围仅仅是直流。它在很多方面与驻极体效应重复，有时不能作出清楚的区分 ($C \cdot f$ | V/S)。已经刊印了很多书和概论文章，但我们只开列了少数一些 (V. S. *Chwedei* | *er* 1918; *W. i. t. c. b. e. a. d.* 1927; *M. e. a. K. i. n. s.* 1961, 111B/1)。包含固体电介质的电容器直流行为的特征乃是在外加电压每一次变化后总出现缓慢衰减的瞬时电流。特别是加上一不变电压就出现一个充电电流，而一短路就出现放电电流。这些电流的强度和延缓与电介质的性质有关。对电流强度，作为是时间的函数 (*V. S. Chwedei* | *er* 1918; *W. a. g. n. e. r.* 1913; *C. o. | .* 1942)。固体电介质中的电荷储存也在开路中存在：电容器在开路时的放电电压曲线不是指数的，它与充电时间有关；电容器充电越长，放电越慢。已经充电的电容器经暂时短路之后，两端电压再上升到一数值，对于强吸收电介质来说，该数值接近于原先所加的电压。这个回复电压效应在高压技术中是一个重要的因素。这效应在很大范围内对外加电压成线性关系。因此可采用线性迭加原理；这就可能建立起很普遍的唯一象理论 (*V. S. Chwedei* | *er* 1918; *G. r. o. s. s.* 1937, 1938, 1940, 1942; *C. a. s. t. r. o.* 1939)，它给出了用吸收电容器观察到的各种电流和电压曲线之间的关系。理论已经由实验所证实。它是普遍的线性系统理论的特殊情况，其中除了弛豫之外还考虑振动 (*G. r. o. s. s.* 1956)。

由于固体电介质的吸收所造成的电荷储存是一个可逆的效应。为了确定在给定时间储存电荷的数值，把系统短路并测量放电电流。电荷由对电流积分而得到；在很多情况下电流衰减特别慢，使人们不得不作长期测量，这个困难利用热释放得以避免 ($1V/3$)。

四、电场—温度效应 热驻极体

如果将热处理与电处理加在一起,那么与电介质吸收有关的电荷储存效应就能大大加强,而且所吸收电荷的持久性也增加了。用这种方法永久极化的电介质现在称为热驻极体。

1. 概况、书与评论

近来对于热驻极体的兴趣增加了,从而诞生了一些评论文章((Gutmann 1948; Euler 1959), 书(Erickson 1960; Gutkin 1961)和文献书目(Schweitzer 1961; Richardson 1962)。也出现一份报导有关驻极体行为的广泛的理论与实验研究成果的文件(Wiseman 1955)。

2. 亥维赛和江口的工作

永久极化电介质的性质由O亥维赛讨论过(1892)。后来江口在研究油和蜡的导电性时(1919)制备了具有类似性质的电介质。这些物体的导电性和吸收随温度升高而强烈地减少,这就暗示,只要将电介质放在外电场下冷却就有可能使它永久极化。在一系列的论文中(Eguchi: 1920, 1921, 1923, 1925)。他研究了驻极体的一般性质。用感应板法测量面电荷,发现出现极性反转。在极化之后它的极性立即与相应的极化电极相反(异号电荷)但最后出现极性反转。电介质得到了与相应极化电极同极性的面电荷(同号电荷)。

虽然当时江口已能精确描述驻极体效应的主要特征,但他的工作在今天主要只有历史意义。它表明了这位科学家的知识和技巧,他用相当原始的设备几乎完全独立地得到了有意义的结果。

3. 同号电荷

同号电荷已被证明是在电介质电极的表面间由于表面击穿和传导