

摄影学理论

(第二分册)

凯纳斯·米斯 主编

中国电影出版社

摄影学理论

(第二分册)

【美国】C·E·凯纳斯·米斯 主编
刘海生 凌晓君 译

中国电影出版社

1984.5 北京

1978年6月 1日

摄影学理论

(第二分册)

〔美国〕C. E. 凯纳斯·米斯 主编

刘海生 凌晓君 译

*

中国电影出版社出版

(北京西单金台寺12号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第089号

北京外文印刷厂印刷 新华书店发行

开本 850×1168 公厘 $\frac{1}{32}$ · 印张 7 · 字数 214,000

1958年2月第1版

1958年2月北京第1次印刷

印数 1—2,510册 定价(11)1.50元

统一书号: 15061·28

C. E. KENNETH MEES
THE THEORY OF THE
PHOTOGRAPHIC PROCESS

本書根据美国麦美倫圖書公司
1954年版第一次印刷本譯出

內 容 說 明

本書根据1954年修訂后的美国凱納斯·米斯主編的原書第二部分譯出。內容自第四章起至第九章。第四章討論乳剂中各种鹵化銀的感光性能及其对光的感应。第五章为乳剂所受的曝光量与显影后所产生的密度之間的关系。

第六章和第七章討論摄影乳剂在光下所产生的各种非正常的效应。

第八章为修訂本中新添的一章，講述帶电粒子在摄影乳剂上所起的作用。

第九章叙述X射綫在乳剂上所产生的作用。

目 次

輻射的作用

主編 J. H. 韋伯

第四章	鹵化銀顆粒的感光性及其对光的感应	W. F. 勃格
		J. H. 韋伯 (1)
第五章	感光层的曝光量与显影后的密度之間的 关系	P. C. 貝尔頓 (51)
第六章	倒数律、間歇、克来登及維拉德效应	W. F. 勃格 (82)
第七章	反正、赫歇尔、沙巴蒂亞、阿尔勃特及 内部潜影效应	G. 康 凡 尔 德 G. W. W. 斯蒂芬斯 (120)
第八章	帶电粒子对于摄影乳剂的作用	J. H. 韋伯 (166)
第九章	X射綫产生的潜影	G. 康凡尔德 (192)
	中英文对照表	

第四章 鹵化銀顆粒的感光性 及其对光的感应

感光乳剂由悬浮于凝胶中的鹵化銀（大多为溴化銀）晶粒組成（見第一章）。吸附于顆粒上的物質有：凝膠本身、凝膠的某些組份，和其他物質如增感染料、鹵离子和防灰霧剂。

如果一片玻璃、一条胶片或一張紙涂上感光乳剂，經干燥后浸入显影液中，除非乳剂已經曝光，否則在相当時間內不会发生任何变化。但若給予适当的曝光，則顆粒变成金屬銀，而鹵素則进入显影液內。假使給予鹵化銀更大的曝光，它在一定程度上分解为游离金屬銀和鹵素，并产生一可見的影像。在較早的文献中，乳剂中所发生的不可見的变化，即經過显影后成为可見的宏观影像，称为潜影。可是，現在所用的潜影一語，系指各个顆粒中在曝光后所发生的、因而能使其显影的变化。

各个顆粒的显影一旦开始，便一直繼續到它上面的全部鹵化銀轉化成金屬銀为止。显影的开始决定于曝光量；曝光多的顆粒比曝光少的顆粒显影得快，但由显影顆粒形成的銀主要来自該顆粒，而不是从其他邻近的顆粒来的。有时，溴化銀顆粒粘成一团，如果这些顆粒中的一个感了光，則整团都变为可显影。由一个曝光的顆粒使整个顆粒团变为可显影的說法會引起爭論，本書第二十一章中將談到这个問題^{1,2}。

在研究光对于鹵化銀顆粒所起的作用时，必須首先弄清楚潜影的性質，然后再談到顆粒的感光性与其化学成分及物理結構的关系，所牽涉的主要光化学反应和潜影形成的历程。

潜影的性質

彭克洛夫特³是最先把有关不可見影像的資料互相連系起来的人們之一。他在一系列的論文中提供了关于1910年以前所知道的有关潜影問題的事实和意見的記錄，这些記錄是从李亞、呂伯一克雷莫、艾德尔和其他人的巨著中选用和翻譯的。1923年他又在法拉第协会的一次演講会上評述了以后的論著⁴。

关于乳剂顆粒曝光后发生的变化，曾有过若干的理論。改变一个真正感光快的顆粒所需要的能量極小，利用这样小的能量所引起的变化一定也很小，包思⁵因此提出顆粒能与显影液起作用是由于获得振動張力的理論。

那米亞斯⁶、赫德和德里菲尔德⁷以及恰普曼·琼斯⁸假定鹵化銀顆粒見光的变化为某些物理形态的变化，包括聚合作用、解聚作用或轉化入亞穩定状态。布雷地格⁹提出蛻变說，根据此說，从一个母粒产生若干極小的子粒^①。

由于除显影作用以外已有十分明确的化学反应說明潜影的特性，因此光仅使鹵化銀产生物理变化的概念已早被摺弃。某些化学还原剂能产生与光同样的作用，即产生可显影性。氧化剂能破坏潜影和鹵化銀的感光性。多少年来已公認光在鹵化銀上所起的作用是形成金屬銀和鹵素。H. R. 貝克在1892年实地証明利用光从氯化銀中排出氯；哈同¹⁰更無疑地証實了氯的离析，并測定了在真空中的分解程度。

从这些試驗可以清楚地看到，光在氯化銀或溴化銀上的長時間的作用产生金屬銀或某种形式的次鹵化物。李亞长期研究感光性鹵化物的結果，提出还原产物为次鹵化物。他認為潜影是由次鹵化銀以胶体状态分散在未起变化的正常鹵化物中所形成的。他能利用化学方法制造比正常的盐含鹵素較少的几种鹵化銀。由于有分散状态的被还原物質存在，这些鹵化銀的顏色很深。李亞称之为感光性鹵化物，因为它们也可借光的晒象作用制成。他把含有被还原物質的而且遇到濃硝酸不致再起变化的那些有色鹵化物叫做感光性盐。但是，几种感光盐的化学分析同样可用銀和鹵化銀的混合物來說明，如同用次鹵化物与鹵化物來說明一样。

大概自1932年以来，化学家們对于如感光盐类的物質的本質的見解，已有很大的改变。在某些固体如碱金屬的鹵化物中，可能有相当数量的自由金屬原子存在，使晶体帶很深的顏色，例如岩盐由于自由鈉原子的存在而呈現深藍色。近代的晶体物理学承認这种可能性，例如“Berthollide”化合物以含有F中心的晶体的形式存在。

次鹵化物學說引起了摄影工作者的極大注意，許多权威人士，包括 龔茲¹³、路德¹⁴和鮑尔¹⁵都贊成这一學說。他們的研究工作最后一次支持潜影为次鹵化物的學說，因为以后X射綫光譜分析的应用無疑地确定了所产生的物質的本質，这种物質至少是延長溴化銀曝光时所产生的，它就是金屬銀。

1925年，柯赫和伏格勒¹⁶証明，如果溴化銀經過曝光，它的X射綫粉末

① 这些說法只有历史意义，根据現有的知識看来，不足重視。

衍射图样显示出金属银的线状特性。而且，如果用硫代硫酸盐除去溴化银，剩下的物质在X射线下只显示出金属银的格子。特里拉特¹⁷也证实了这一点。如果将一张胶片在蓝光下曝光几个月但不定影，则X射线衍射图中也可以看出有溴化银和金属银同时存在。在未经长时间曝光的胶片内，不能发现银的痕迹。这些观察的结果，虽然并不提供关于潜影的性质直接证据，但它们无疑地证明，溴化银经长时间曝光后，所产生的是金属银。

电子显微镜能使研究工作向前推进一步。图40所示为经过电子显微镜中的电子注曝光后的溴化银晶体。在电子注下碎裂的晶体内部形成黑色淀积物。图41所示为在强光下曝光，然后经过定影的溴化银晶体。从图中可以看到凝胶内原来的晶体的影子，还可看到许多小的金属银微斑，其中最小的估计宽度小于 200 Å。这些

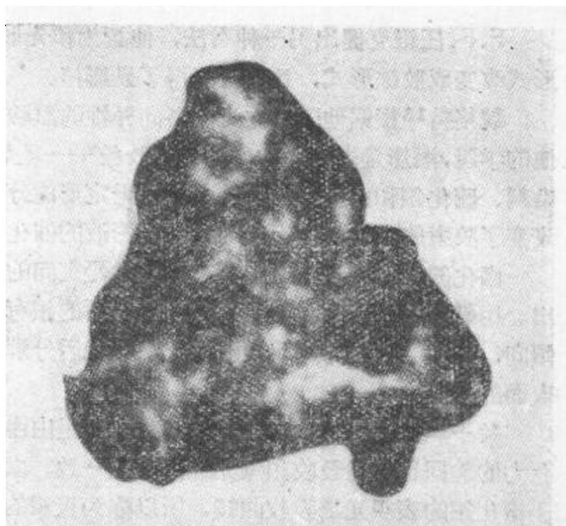


图40: 曾曝露于强烈的电子注下的溴化银晶体的电子显微照片(放大36,000倍)。

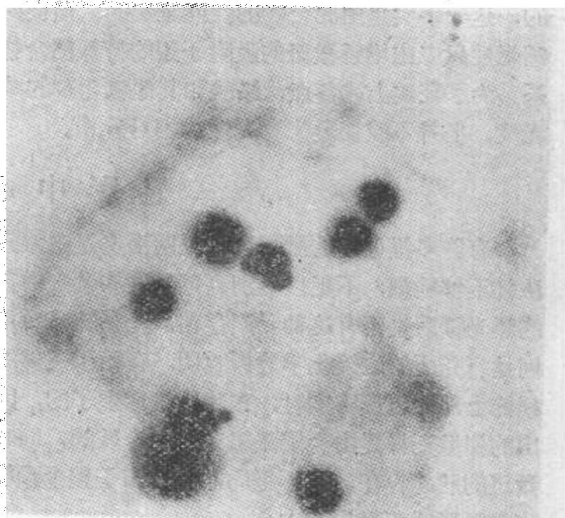


图41: 见光分解银粒(曝露于紫外线下的溴化银, 经过定影)的电子显微照片, 放大50,000倍。

细小的微斑似乎是银的立方晶体，大约含有 125,000 个银原子。

由潜影的形成和可见影像的产生之间的连续性来看，似乎没有理由不相信曝光所产生的潜影是由金属银原子的聚集体组成的。

F.F.任維克提出另一种看法，他認為預先形成的銀粒在曝光后从溶胶形式改变成胶冻形式，这样就获得了显影核。

魏格特¹⁸根据他的感生光学各向异性的試驗創立了潜影的胶束說，根据他的学說，潜影是由起了物理变化的胶粒——乳剂所有的組份，即原来的銀、染料、硫化銀和鹵化銀本身的稠密而无定形的分子聚集体——形成的。曝光改变了胶束的定向，因而增加了对显影液的催化作用。

鹵化銀晶体的光化学分解产物有时是定向的，如屈福理和謝培德¹⁹所指出。用氨液制备的鹵化銀晶体中，分解后的銀有專在某些晶体單体上定向的傾向，但在乳剂中的鹵化銀顆粒上，見光后分解的銀大都散布在鹵化銀顆粒表面的点上。

关于無光学增感剂存在下的正常潜影是由鹵化銀本身所产生的說法，最有力的論据是光譜吸收和感光性之間的一致。鹵化銀的分光感光性曲綫符合于鹵化銀的表觀光譜吸收曲綫，所以称为表觀的原因，是因为測定分散的散光物質的眞正吸收性不是一件簡單的事情。托埃²⁰用沒有散光干扰的單感光层干板証明了氯化銀、溴化銀和碘化銀的分光感光性是由鹵化物本身决定的，这一事实是由混合物的性能証实的。但根据魏格特的假說，它們的分光感光性只应由增感微斑的吸附于銀的特殊絡合物来决定，与鹵化物并無关系。为了証实上述各点，銘酸和其他氧化剂的减感作用虽然大大降低了总感光度，但并不改变分光感光性的相对分布。

显影中心

有許多推理上的証据可以証明潜影是由銀元素組成的，但目前的分析方法还不够精細，不足以鉴别高感光度的乳剂中在給予相当于特性曲綫的趾部的曝光量后是否有这种元素存在。托勒特²¹曾用極微粒的乳剂进行了研究。柯达研究所的直接化学分析說明，在給予足够的曝光量，在足以产生特性曲綫的上部的显影密度时，銀确实是产生了的，因而假定潜影像晒像紙上所显出的影像一样是由金屬銀組成是很合理的，同时也可以假定这些金屬銀是以微斑的状态存在，而不是均匀地分布于整个顆粒中。可以認為这些金屬銀微斑就是形成可显影的中心。

1917年，霍奇逊²²根据薛弗尔于1907年所作的某些試驗注意到，如果在影像正要出現以前使显影作用中断，并在显微鏡下檢視顆粒，在顆粒中間或上面可以看到黑色微斑，其大小和数目隨着显影時間的延长而增加。这些微斑显然是銀沉积的中心。有人曾用統計法研究这种中心的性質和存在。差不多在同一个时候有三組工作者——在欧普沙拉的斯維得伯尔格和他的合作

者，倫敦的英國攝影研究學會和紐約州洛吉斯特的柯達研究所——都對這個問題發生了興趣。既然一個單獨的顯影中心足以使整個顆粒顯影，那末曝光增加密度的效應，必定是由於產生含顯影中心的顆粒數目增加所致；也就是說，一個顆粒能否變成可顯影的幾律，決定於曝光量。據此看來，較大的顆粒之所以有較大的感光度，是因為它們在曝光時產生顯影中心的可能性較大的緣故。

顯影中心在顆粒中的分布，曾由斯維得伯爾格²⁴加以研究，並發現是按波亦松的機遇分布律分布的。根據這一定律，在一個顆粒中產生 n 中心的百分數幾律如下：

$$P_n = \frac{100 \cdot e^{-v} \cdot v^n}{n!},$$

式中 v 為每一個顆粒所含顯影中心的平均數。因此鹵化銀顆粒中至少含有一個顯影中心的百分數幾律為：

$$P = 100(1 - e^{-v}).$$

顯影中心的機遇分布律說明一個事實：並不是具有一定大小的顆粒經過一定的曝光後，就會全部變成可顯影。斯維得伯爾格曾作過一些試驗，目的在於找出顯影中心是否只存在於顆粒的表面，或是同時也存在於顆粒的內部。他製備了單感光層干板，經過必要的短時間顯影後，拍出顯微照片，從這些照片獲得了許多顆粒所含顯影中心的位置的綜合記錄。在試驗中所計量的 244 個顯影中心的分析，指出重點分布是在表面。因此，可以認為顯影中心是不規則的分布于顆粒表面。如果鹵化銀都是均勻的，形成顯影中心的幾律應與顆粒的面積成正比。高速乳劑含有扁平的小片，這些小片通常與膠片的表面平行，其投射面積與總面積有密切關係（第二章）。

斯維得伯爾格發現在他所製備的乳劑的各級顆粒中，顯影中心存在的幾律和投射面積幾乎成正比。他把顆粒的比感光度解釋為：在任何經過一定曝光的乳劑中的鹵化銀表面每平方厘米內產生可顯影中心的平均數。一種乳劑與另一種乳劑的比感光度有很大的差別。斯維得伯爾格的感光度定義說明這一久已証明的事實，即較大的顆粒比較小的顆粒更敏感，而且更容易形成顯影中心。

托埃²⁵研究了在一單層乳劑中的四類大小的顆粒的比感光度。由計算各類中各種曝光所形成的可顯影的顆粒數目，他能繪出各類乳劑顆粒的特性曲綫，它們與多層乳劑干板的 $D - \log E$ 曲綫相似。這些乳劑顆粒分成四類後，即得出圖 42 中所示的曲綫。較大的顆粒比較敏感，而且它們的曲綫彼此之間不像

較小顆粒的曲綫那樣相像。

显影中心显然与光起作用的方式多少有些关系，并有五种可能性：

1. 显影中心代表光子撞击均匀的卤化银晶体表面的地方。
2. 显影中心在曝光前便存在，不同于其余的卤化银，入射光是均匀的而且在結構上不一定是分立的。
3. 結合1、2兩点，光子可被晶体矩陣吸收，預先存在的显影中心为实际潜影形成的地方。
4. 显影作用必須在某处开始，也就是在个别的点，即显影中心开始。这一建議不久就被否定了，因为如果它是适用的話，显影中心的数目就要隨着显影時間而增多。但实际上不会发生这种情况。

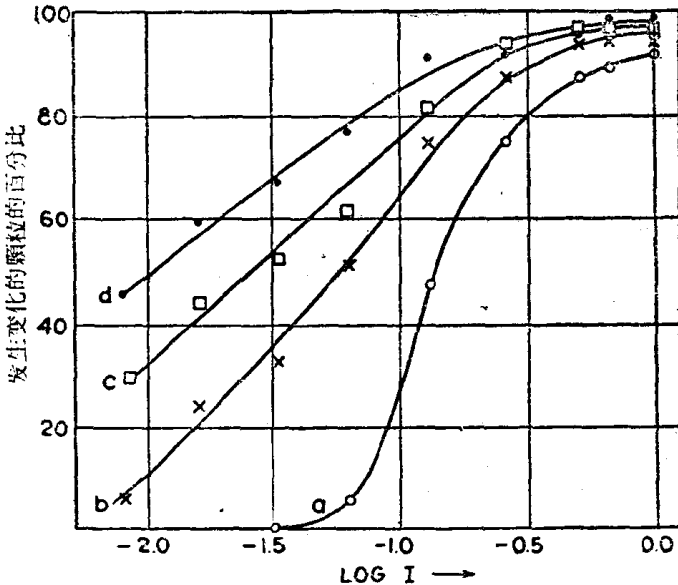


图42: 顆粒的面积与顆粒的感光度之間的关系: $a=0.93\mu^2$;
 $b=1.75\mu^2$; $c=2.73\mu^2$; $d=3.93\mu^2$ 。

5. 潜影必須在某处形成，最初的銀原子聚集的地方即为一中心，以后的銀原子便沉积在它上面。

上面提到的第一个假說是由謝尔伯斯坦²⁶根据輻射的量子說提出的光鏢理論。以后，謝尔伯斯坦²⁷修改了他的理論，使其符合第三个可能性。托埃²⁸的試驗工作所得出的結論，支持認為在顆粒表面除溴化銀以外还分布着一种物質的見解，他假定这种物質是以分立的微粒形式存在的，并且是在沉淀和成熟的时候产生的。在正常的曝光下，这些微粒供給还原核，而曝光的唯

一功能是改变它們的状态，使它們对显影液的作用敏感。所有的还原核不需要同样的曝光量来改变，它們根据机遇律分布在顆粒中間。唯有至少具备一个还原核的顆粒才可显影，平均感光度隨着顆粒的大小而增大。一个顆粒的感光度是它的最敏感的核的感光度。这是托埃²⁵采用的假說，他根据这一假說进行了广泛的研究，得到有力的支持。

斯維得伯尔格假定大顆粒和小顆粒的感光物質之間有类似点，但他認為还原核的感光度与顆粒的大小無关，因而增加顆粒大小的唯一效果是增加核的总数。較新的証据証明增感微斑本身不是主要的感光物質。根据感光度可能是由于溴化銀以外的微量物質而增加的說法，产生了下列的建議，就是这种物質也許会受到不与溴化銀起作用的化学試剂的影响，因此可借化学方法摹拟光的作用。

其他的研究者又闡明了显影中心的本質，其中著名的有W·克拉克，他研究了用化学灰霧剂产生显影中心的問題。早在1887年²⁹就已經注意到，在沒有光綫的情况下，用化学作用也能使乳剂成为可显影的状态，甚至产生反轉現象³⁰。派里³¹在1909年表明次磷酸盐、亞砷酸盐和亞錫酸盐都能使乳剂产生灰霧，并由彭克洛夫特予以証实。克拉克³³在有关亞砷酸盐和过氧化氢的灰霧作用的一系列論文中，第一篇就提到，如果化学試剂在分量上和統計数字上影响顆粒的情况与光相同，則可証明乳剂顆粒中預先有感光中心存在。克拉克在他的試驗中使用一种与托埃所用干板相同的單层乳剂干板，这种乳剂的顆粒为扁平小片，具有大致相同的形状和大小。托埃証明了斯維得伯尔格的結論，在一个已曝光和部分显影的顆粒中找到 n 显影中心的几率可用下式表示：

$$P_n = \frac{e^{-v} v^n}{n!},$$

式中 v 代表每一个顆粒所含显影中心的平均数。克拉克把 n 与用10%亞砷酸氢鈉处理过的干板的 P_n 联系起来，得出一条曲綫，恰与从光的作用所获得的曲綫符合（图43）。而且他还发现，亞砷酸盐所产生的中心与由光的作用所产生的中心在顆粒上的部位也相同。在这兩种情况下，顆粒的扁平部分上的显影中心数目与邊緣上的显影中心数目的比例都是1:2.3。光和亞砷酸盐的作用似乎是相同的。克拉克証明化学作用产生的灰霧，并不是由于亞砷酸盐与溴化銀之間的相互作用，而是由于亞砷酸盐在感光中心上所起的反应。他把³⁴亞砷酸盐溶液在未經处理的干板上的作用和已經利用氧化剂除去感光中心的干板上的作用作了比較。与第一种情况中的可显影性比較起来，第二种情况中的可显影性微不足道。克拉克³⁵还研究了銀盐与亞砷酸盐之間絡合

物的形成，并发现高 p^H 值时有极显著的反应。謝培德、怀特曼和屈福理³⁶研究了亞砷酸盐溶液对溴化銀的作用，他們发现，如用亞砷酸二鈉，溴化銀很快地被还原成銀；如用亞砷酸一鈉，則仅有少許溴化銀被还原成銀。

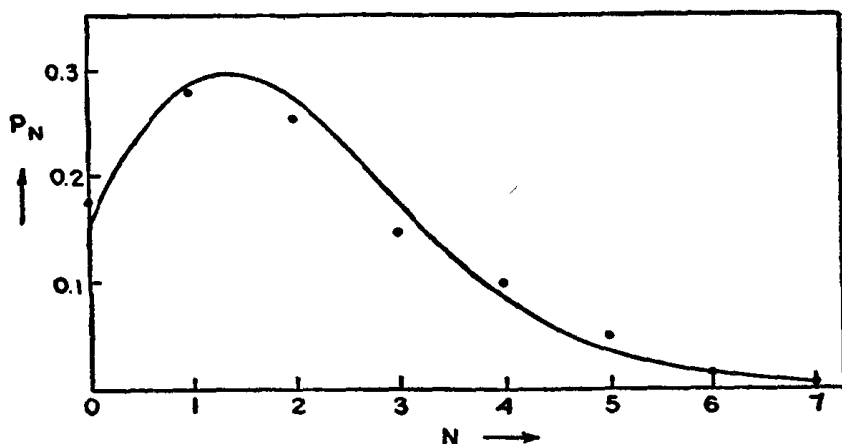


图43: 用亞砷酸鈉处理所产生的可显影性。

氧化剂能破坏潜影的这一事实是很重要的。岳里³⁷在1905年証明硝酸鉍酞降低感光度，而呂玻—克雷莫³⁸注意到当鉻酸加入制造中的液体乳剂时降低感光度的作用。W. 艾伯尼、K. 曉姆、A. 盧米尔、L. 盧米尔、R. A. 李斯和其他許多人报道过硫酸銅和氯化汞之类的盐的作用。艾德尔³⁹彻底研究了氧化剂特别是鉻酸的作用。布洛克在專冊中蒐集了大部分业已出版的有关潜影的化学反应的資料，其中包括他自己的許多著作和完备的文献目录⁴⁰。

謝培德和米斯⁴¹研究了鉻酸对于感光度、显影的作用和破坏潜影的作用。他們証明，感光片在曝光后浸入 N/50 的鉻酸溶液中，感光度就大为减低。

克拉克^{35, 42}发现鉻酸在溴化銀乳剂顆粒上所起的作用使感光度减低。这种减感剂在較小的顆粒上的影响最为显著。謝培德、怀特曼和屈福理都曾注意到这一情况。

克拉克所作的另一个試驗，是关于鉻酸在預先曝光的普通商品干板(非單层乳剂)上的作用。他发现这种减感作用对已曝光的感光片比未曝光的感光片大得多。这或許是阿尔勃特效应(第150頁)的一个証明，即减感作用是由顆粒内部产生的潜影核所引起的。这些核經過漂白处理后并没有除去，而且以后可以在它們上面形成任何潜影。从这个試驗中并不能得出关于显影中心在曝光前存在的明确結論。

謝培德⁴⁴与謝培德、怀特曼和屈福理⁴⁵发现，若輪流应用鉻酸和碘化

鉀，感光度可减小到最低限度，而潜影差不多全完被毁坏，但并未完全被毁坏。他們相信有一部分潜影和一部分感光物質位于顆粒内部，只有在特殊的情况下才被釋出（見第100頁）。

海奇斯和米契尔⁴⁶在大顆溴化銀單个晶体的表面沉积薄层的銀，其表面密度为 10^{15} 原子/平方厘米。他們証明这种由銀原子組成的薄层 所具的特性与表面潜影的特性極相似。这种薄层在晶体表面个别的点上开始化学显影，并且能被濃度足以破坏表面潜影的氧化剂溶液所破坏。

总之，显影中心在曝光前即存在的一点并未得到确实証明，虽然有着利于这种假定的証据。当我们說某些化学葯品的作用和光的作用相似时，并不一定要求化学葯剂对鹵化銀的还原作用也像光对鹵化銀的还原作用一样，形成銀的聚集体。氧化剂减低感光度証明有些与純鹵化銀不同的物質深深影响感光度，但并未証明有分立的显影中心存在，而这些中心与該顆粒中可能在上部开始形成潜影的其他部分有所不同。然而，現在一般都假定显影中心在曝光前就已存在；它們被称作增感微斑。以后將看到，至少銀微斑可以作为銀沉积的中心，增感微斑預先存在的假定并非毫無根据的。

增感微斑的性質

1924年初，关于显影液作用于顆粒上某些局部点，这些局部点很可能与光作用的点一致，局部点或微斑为顆粒結構中預先存在的缺陷，而且大多数有效微斑系位于顆粒表面的理論已被公認。但这引起了下面的疑問，究竟微斑是由物理应变而造成的結晶格子的裂口，还是鹵化銀被凝胶部分还原的銀質点，或者是由其他雜質所組成的呢？

为了研究鹵化銀顆粒在尽可能沒有吸附的微斑或其他增感物質时的感光度，劳烏、琼斯和罗伯滋¹⁷研究了强溴液对于溴化銀和碘溴化銀乳剂的作用。他們研究了用各种不同化学方法增感的乳剂、因曝光而形成了潜影的乳剂和以各种方式产生了化学灰霧的乳剂。他們发现有兩种形式的化学感光度——潜在的化学灰霧和表面与内部的潜影——能被下述方法定量地破坏。经过仔細洗滌后除去了所含溴的乳剂，完全沒有潜在灰霧或潜影，其表面的和内部的感光度（第15頁）略小于原来的乳剂，在制备原来乳剂时，尽量不使有任何化学增感作用。已証明这种感光度的微量减小是由于少量不能用水洗去的溴所引起的。可是，在用适当分量的吸鹵剂如銀离子或亞硫酸盐处理除去这种溴以后，乳剂对某些化学增感处理所起的反应便很正常。同时发乳剂在这种無溴状态下，不論是表面与内部感光度，或者是对化学增感方的反应方面，都与原来的乳剂相同。

这种結果被解釋为：在制备时使任何化学作用对顆粒的影响減至最少限度的乳剂，是处在“原始”状态，也就是說，在乳剂顆粒形成过程中沒有发生化学增感作用。原始顆粒的感光度是由于有原始感光中心存在于自由表面和内部表面的緣故，这种原始感光中心看上去是晶体的正規格子有間断或变动。

謝培德发现照相凝胶中存在异硫代氰酸盐，它們与溴化銀起反应形成溶解度較低的复合物，这一发现为由化学方法形成的微斑本質与原始微斑相反的说法提供了証据。謝培德証明在低濃度下鹵化銀晶体上形成微觀微斑，而在碱性状态下轉化成硫化銀。至少有理由假定，在增感所用的較低濃度下，会形成相似的但是超微觀的微斑。

用硫脲增感并保持低 pH 值的乳剂中，感光度稳步上升。在这种性能和丙烯硫脲与溴化銀的复合物的分解速度（pH 的函数）之間发现了有值得注意的类似情况。一般說来，在用直接試驗所找出的、适合鹵化銀与硫体化合为硫化銀的 pH、温度和时间等条件下、并于硫脲存在时能够制备高速乳剂这一事实之下，任何其他的解釋都不太可能。硫化物一旦形成，任何因提高 pH 值而增加的可逆速度，例如劳林和格拉賽特⁴⁸所发现的，不复能用硫化物的繼續产生来解釋。但不可逆速度的增加，似可归因于硫化銀的形成。即使这种反应沒有直接証据，但在阻止硫化銀形成的条件下，用硫脲很少或者根本不产生增感作用，而在产生可分析数量的硫化銀的条件下确实产生增感作用的事实，成为这种主張的主要証据。

确定增感物質为硫化銀的研究成果，在学术方面大大地提高了一步，但增感作用的历程仍有待闡明。謝培德在最初的試驗中测定了产生高速乳剂所必需的硫脲量，并研究了硫脲与鹵化銀化合的方式。在制备乳剂时，仅有一部分凝胶用于沉淀，其余的在成熟和水洗完成后才加入。乳剂的感光度大部分决定于最后所用凝胶的質量，因而必定是这一部分內的增感剂产生了硫化銀。如果將人造增感剂加入最后所用的凝胶內，可以得到最好的增感效果。

如果把涂布好的乳剂浸在增感剂內而不在乳剂內加增感剂，很难获得滿意的結果。每一个顆粒需要剛巧足够的增感剂，否則感光度減小而灰霧增加。如果浸漬涂布好的乳剂，很难供应足够的增感剂到下部的顆粒而不致使上部的顆粒增感剂过多。謝培德和怀特曼⁴⁹用浸漬法試驗，除了特制的單层干板外，其他干板都不能获得均匀的增感作用，但在选择适当的条件下，感光度也有一定程度的增加。

为了研究增感剂的作用，首先要有惰性凝胶。这种原料不是天然有的所以凝胶必須經過化学处理。用碱和酸处理后再用蒸餾水洗滌的去灰处理。

可以除去扩散性增感剂。用氧化剂，如高锰酸盐、次氯酸盐或过氧化钠处理，可以破坏不扩散性增感剂。謝培德在有系統的乳剂試驗中發現，很少量的增感剂就能使感光度显著地增加。百万分之一的增感剂便能产生可觉察的变化，而高速乳剂所用增感剂大約不超过五万分之一。若再增加增感剂，則感光度激增，但用处不大，因为潜在的灰霧或自发的可显影性也隨之增加。感光度不是無限地增加；在七千份乳剂（干燥时的重量）中加入一份的增感剂，便可达到感光度的最大值，繼續增加則感光度下降，增加到比例为二百分之一时，所形成的灰霧与某些其他干板的最大密度一样大，此时几乎不可能测定感光度。灰霧和感光度随着增感剂濃度增长的情况如图44所示。

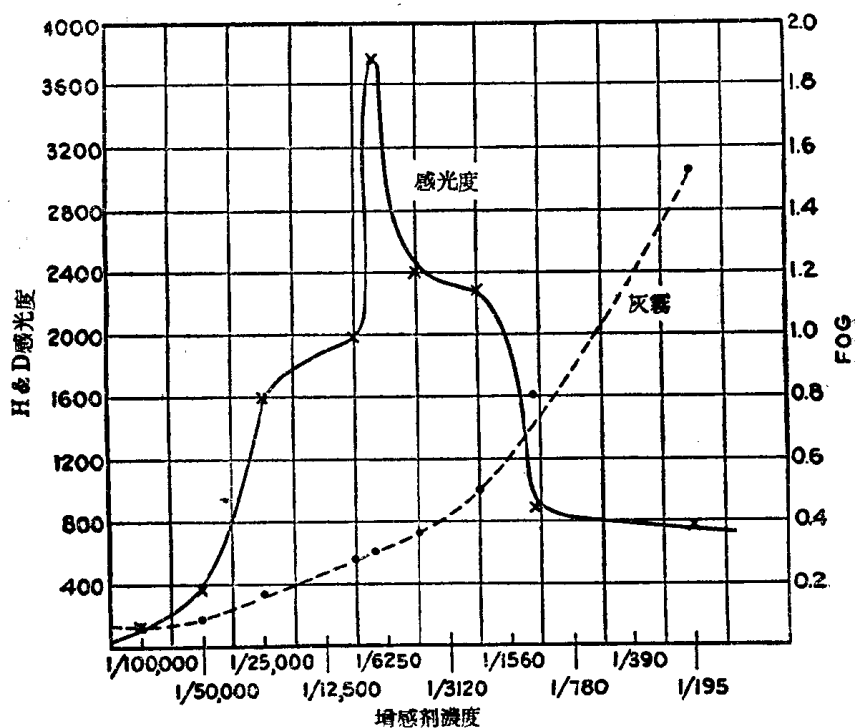


图44: 在乳剂中逐渐增加硫增感剂的数量时灰霧和感光度增长的情况。

加入有效数量的增感剂，即使在显微镜下檢視也看不出来乳剂的外观有任何变化。謝培德的研究闡明了硫化物在顆粒上的分布，他分別与赫德生⁵⁰和屈福理及怀特曼⁵¹从两个观点来研究这一問題，赫德生观察到溴化銀—硫脲絡合物的晶体群能够从溴化銀表面的个别点生长。因此，很可能当溴化銀顆粒与含有硫脲的溶液作用时，后者吸附于鹵化銀顆粒上并与它起反应⁵²而

形成分子化合物。以后化合物被碱分解时，所形成的硫化银不見得会重新分布于氯化银颗粒上。这一建議着重說明硫化物形成于預先被复盐占据的各点。

屈福理和怀特曼將單层干板浸漬在万分之一的丙烯硫脲溶液中，經過一小时以后，再用碱处理。在用碱处理前（在用硫脲处理后）和处理后，分別攝取显微照片。图45中的照片証明在第二和第三阶段可以清楚地看到微斑。

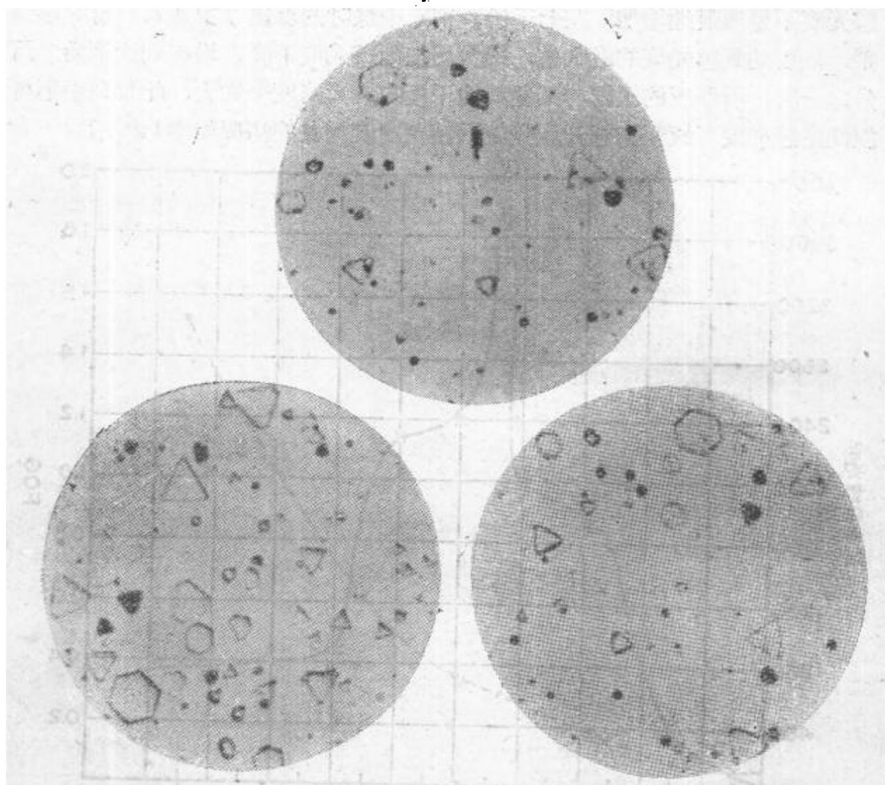


图45：溴化銀顆粒的显微照片：上图，原来的顆粒；左图，加入硫脲后在顆粒中形成的微斑；右图，微斑被碱轉化成硫化銀。

1927年，克拉克⁵³试图区别感光物質①和潜影物質。他用鉻酸試驗的結果，証明潜影的反应性大得多，由此他断定用氧化电位極低的氧化剂溶液，对硫化銀組成的感光中心不应起反应。因此，这种氧化剂溶液不应减小未曝光干板的感光度，而如果氧化剂的氧化电位高到足以对銀起作用的程度，应

① 感光中心本質。——譯注