

電絕緣問題

安德里安諾夫 主編

科學出版社



电 絕 緣 问 題

安 德 里 安 諾 夫 主 編

卢传康、刘振兴
李道义、崔芸皋 等譯

科 学 出 版 社

1 9 6 0

К. А. АНДРИАНОВ
ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ
Госэнергоиздат 1958

內 容 簡 介

本书系全苏电器科学研究所一些重要的試驗研究报告彙集。全书着重介紹了有关硅有机絕緣材料的試驗数据,关于云母粉帶絕緣的性質,以及热帶絕緣材料的耐湿性和耐霉性等問題。

本书是理論与实际結合的研究成果,适合于研究机构、工厂試驗室以及电机、电器方面的工程技术人员閱讀。

电 絕 緣 問 題

安德里安諾夫 主編
卢 传 康 等譯

*

科学出版社出版 (北京朝阳門大街 117 号)
北京市书刊出版业营业許可証出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总經售

*

1960 年 4 月第 一 版	书号: 2154 字数: 260,000
1960 年 4 月第一次印刷	开本: 787×1092 1/27
(京) 0001—8,600	印张: 11 17/27 插頁: 2

定价: 1.25 元

譯 序

大家都知道,电机、电器工业同电絕緣材料工业有着密切的关系。电机、电器的质量,在很大程度上取决于电絕緣材料的水平。因此对一些新型电絕緣材料的研究,就显得很为重要。

“电絕緣問題”是全苏电工研究院一些研究成果的論述。在书中,对硅有机絕緣材料作了較多的論述:从单体的合成問題講起,然后論述到硅有机树脂、漆、橡胶、漆布,还涉及到其他一些用途,如用作憎水剂等問題。在云母絕緣材料方面,书中所談的云母粉帶絕緣和耐热磷酸鉍換向器云母板这两个問題,对我們來說,也是一个极有兴趣的問題;特别是在关于磷酸鉍換向器云母板一文中,作者对它的制造工艺作了一系列的分析。书中列举了許多介电質的耐湿性和耐霉性的試驗数据,甚至談了許多試驗方法。在这本书中,还分析了介电質的性質同它的結構的关系。因此說“电絕緣問題”是一本好书,值得研讀一番。

鑑于上述之故,我們就組織一些同志,抱着向苏联先进科学成就学习的目的,翻譯了这本論文集。在翻譯过程中,我們碰到了一些疑難問題。对这些問題,我們作了一些譯註并作了某些处理。

本书由西安絕緣材料厂下列同志(按姓氏笔划排列)譯出:水启本、卢传康、刘振兴、邹时琪工程师、李道义、张书縉、湯永年和崔芸皋。全书由卢传康統一校訂。

对协助我們描图和抄譯文的几位同志,在这里表示深切的謝意。

由于譯校諸同志的水平所限,在譯文中难免有不当之处,敬請讀者提出指教和批評。

譯 者 1959 年 9 月

目 录

譯序.....	i
烃基和芳基氯硅烷的直接合成.....	1
硅有机化合物为基的耐热电絕緣漆.....	14
硅有机聚合物、有机聚合物以及以这两类聚合物为基的各 种介电质.....	27
介电质耐热性同其化学組成和結構的关系.....	41
聚合物介电质在受热时的变化情况.....	86
电机絕緣用彈性玻璃漆布的制造.....	125
各种介电质用硅有机化合物作憎水处理.....	177
金属的氧化物和氟氧化物对电絕緣用聚苯基乙基硅氧漆 漆膜性质的影响.....	199
云母粉带絕緣的电气性能.....	214
湿热气候条件下介电质的耐湿性和抗霉性的研究.....	226
杀菌剂对介电质抗霉性作用的研究.....	251
热带气候試驗箱.....	271
磷酸铵耐热换向器云母板制造的工艺特点.....	286
电磁綫彈性的試驗方法.....	302

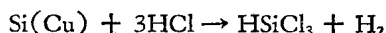
烃基和芳基氯硅烷的直接合成

K. A. 安德里安諾夫 M. A. 高魯別夫

Г. С. 肖斯津可 Л. Н. 尤金娜

近年来,在制取烃基和芳基氯硅烷的許多方法中,直接合成法具有特別重要的意义。

直接合成法是以元素硅在高温时能同卤素和有机卤化物反应而生成氯硅烷和有机氯硅烷这一事实为基础。已經发现,在直接法合成氯硅烷时,铜是接触剂中最好的一种。1905 年路夫和阿尔培忒以硅铜和氯化氢在 300°C 下按反应式:



制得了三氯硅烷^[1]。

1934 年繆勒^[2]和与此同时玻斯、斯季尔威尔^[3]繼續采用金属铜和铜盐为接触剂进行上述反应。并且繆勒^[4],特别是洛乔^[5]几乎同时都采用了铜按反应式:



进行有机氯硅烷的直接合成。

有許多专利談及关于直接法合成有机氯硅烷的問題。并提出制备 $\text{Si}(\text{Cu})$ 接触剂的各种不同方法: 将铜粉和硅粉压合, 将这两种成分制成合金, 用硅还原氯化亚铜, 氯化氢中渗入惰性气体, 氯化氢中加入氯化氢等。

蘇聯工程師在 1946 年进行了有关直接合成有机氯硅烷的一些研究工作, 其試驗結果分述如下。

接 触 媒

起初的一些試驗是为了闡明对甲基氯硅烷的合成最为适宜的

Si-Cu 触媒的組成和結構。

將含有 80%Si 和 20%Cu 的下列各種触媒進行了試驗：

1. 在 400 公斤/厘米² 的壓力下壓成片，並在 960°C 的氫氣中經過焙燒的触媒；
2. 經過 270—280°C 還原處理的 Si 粉和 Cu 粉的混合物；
3. 在球磨機中粉碎過的 Si 粉和 CuCl 粉的混合物，然後在 270—280°C 中使 CuCl 還原。
4. Si-Cu 合金。

往裝有 400 克触媒的管式爐中，以 12 升/小時的速度通入氯甲烷進行試驗。得到的甲基氯硅烷(粗品)在有五塊理論蒸餾板的蒸餾塔中進行分餾。

表 1 直接合成法中各種触媒的比較

	合成溫度, °C	甲基氯硅烷的收量 (以氯甲烷計), %	粗品中的 氯含量, %	餾份, %		
				64°C 以下	64— 67°C	67— 69°C
片狀触媒	300	51	67	48	35	2
Si+CuCl	300	53	65	46	39	4
Si+CuCl(粉碎)	280	66	62	35	40	13
Si—Cu 合金	270	94	56	18	35	36

表 1 指出，用合金作接觸劑具有下列一些優點：合成溫度低；以氯甲烷消耗量計的收量高；67—69°C 的餾分百分率高，且其中主要是含有沸點為 70°C 的二甲基二氯硅烷。

下一步工作是研究粉碎成豆粒大小（固定式合成爐）或粉狀（帶有攪拌器的合成爐）的 Si-Cu 合金。

合成過程中各階段時間內的反應情況見表 2，表內所列的是管狀固定式合成爐的試驗結果。試驗時爐內裝入 6 公斤合金，氯甲烷通入速度為 1 升/分鐘(2.2 克)。試驗進行到甲基氯硅烷粗品的收量達到 5705 克為止。

從表 2 可看出，隨著反應時間的增長，保持收量一定的合成溫度就上升，合成效率逐漸下降：氯甲烷的利用率減低，且合成產品

中二甲基二氯硅烷含量下降。在合金中銅含量为 2—5% 时,合成进行得相当剧烈。

可以用硅铁代替純硅。例如,在一次对含有 7% 鉄的合金的試驗中,从 21.4 公斤的合金中获得了 21.5 公斤甲基氯硅烷,为氯甲烷的 85%,且二甲基二氯硅烷的含量为 31.7%。在另一次試驗中(合金中含 24.2% 的鉄),装料 8 公斤可制得粗品 6.4 公斤,收量为氯甲烷的 88%,其中二甲基二氯硅烷含量为 24.4%。

表 2 直接法合成氯硅烷产品性质与合成時間关系

合成炉工作 時間, 小时	溫度, °C	粗品收量, 克/小时	收量(以氯甲 烷計), %	粗品中氯的 含量, %	68—69°C 餾 份含量, %
0—7	270	98	75	57.5	28
7—15	270	125	97	56.7	35
15—24	270	100	77	56.5	35
24—32	272	114	88	55.7	33
32—41	274	110	85	56.2	30
41—51	276	75	58	56.5	26
51—59	280	57	44	57.6	20

直接合成法的反应过程是复杂的,除了同触媒的化学成分有关之外,还同它的物理結構、反应炉的結構、进气速度、合成溫度及其它因素有关。例如,氯甲烷进气量增大时,甲基氯硅烷粗品的数量开始增加得很迅速,以后減緩。氯甲烷的利用率只有在某一速度最为合适,进气量增大时,則迅速下降。在同一試驗条件下,提高溫度就能提高粗品的收量和氯甲烷的利用率。但当溫度高于 240—270°C 时,粗品中的二甲基二氯硅烷餾分含量要下降,甲基三氯硅烷、甲基二氯硅烷及四氯化硅餾分要增加。如果必須制取实际上不含 SiCl_4 的三甲基氯硅烷(它們的沸点相应地各为 57.6 和 57.7°C),应该在 CH_3Cl 进气速度小且溫度不高于 230—240°C 的情况下进行合成。 Si-Cu 合金的結構具有重要的意义。将高周波电炉中制得的液状合金倒入土制的模型中或鑄鉄模型中,使冷后的合金中有相当量的銅析出,这样在合成时会降低效果。将 Si-Cu 熔液以細流方法注入冷水中制得的合金质量較好。以后发现

在鋼板上澆成薄片(2—3 毫米厚)可以減少銅的析出。

表 3 用各种方法制得的 Si-Cu 合金在直接合成中的效率

合 金 規 格	用 1 公斤合金制得的粗品量,公斤	二甲基二氯硅烷含量(粗品中),%	甲基三氯硅烷含量(粗品中),%
合金条,厚度50—60毫米	1.2	20—10	31—33
合金板,厚度20毫米,自鉄模型中鑄出	1.6	40—28	21—40
細粒合金,直径2—5毫米,注入水中而成	2.2	62—37	10—12
合金片,厚度2—3毫米,澆在鋼板上而成	2.2	68—46	11—16

表 3 中列入的是用各种合金时的合成結果。試驗是在中間工厂的电热炉中进行的,炉的容积为 70 分米³ 带有攪拌器,其轉速为 14 轉/分钟。在合成时平均温度为 220—230℃ 的情况下,氯甲烷通入速度約 0.4 公斤/小时。合金加料量为 80—84 公斤。从表 3 可以看出注入水中或澆在鋼板上制得的合金的优点(符号——两端的数字表示合成结束后产品收量的高或低)。在用含 Si 74.5%、銅 26.8%、鉄 2.2% 的細粒状合金的一次試驗中,加料 79 公斤,但是得到 176.3 公斤甲基氯硅烷粗品(1 公斤合金制得 2.24 公斤甲基氯硅烷粗品),为氯甲烷(100%)的 65%。甲基氯硅烷某一次典型合成試驗(采用薄片状合金)的动力学见图 1。

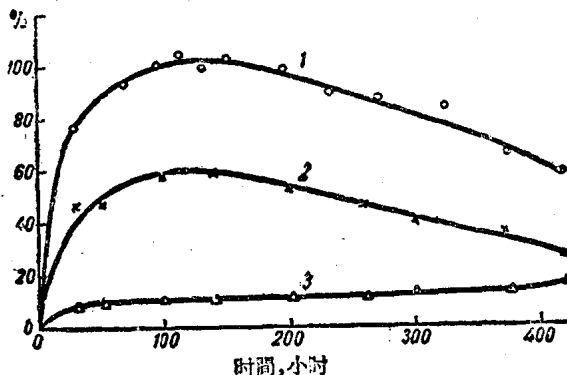


图 1 甲基氯硅烷的直接合成

- 1——粗品收量(以氯甲烷計); 2——二甲基二氯硅烷量(粗品中);
3——甲基三氯硅烷量(粗品中)。

經驗証明，硅和銅必須最充分的接触是直接合成的最有效的条件。

直接合成中反应物質的热裂解

将气体通入长为 120 毫米、直径为 20 毫米的加热鉄管中进行了試驗。測出了合成中各种物質的分解(热裂解)的始点。当冷凝器或其受器中出现白烟、有时出現細小的液滴时的温度作为热裂解始点的标准(見表 4)。

表 4 直接合成法中反应物的裂解始点

羟基(芳基)氯化物	触 媒	热裂解始点, °C	直接合成时 温度, °C
CH_3Cl	—	390	220—270
CH_3Cl	Cu	290	220—270
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$	—	380	240—260
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$	Cu	290	240—260
$\text{CH}_2=\text{CHCl}$	—	390	410—420
$\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$	—	350	400—420

表 5 直接合成法中产品的热裂解始点

有 机 氯 硅 烷	热 裂 解 始 点, °C
$(\text{CH}_3)_3\text{SiCl}$	160—170
$(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$	190—200
CH_3SiCl_3	260—270
$\text{CH}_3\text{SiHCl}_2$	160—170
$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{SiCl}_2$	220—230
$\text{C}_2\text{H}_5\text{SiCl}_3$	230—235
$\text{C}_2\text{H}_5\text{SiHCl}_2$	235
$\text{C}_6\text{H}_5\text{SiCl}_2$	340—350
$\text{CH}_2=\text{CHSiCl}_3$	225
(SiCl_4)	320—330

作为接触剂的銅能大大地降低烃基（芳基）卤化物的裂解温度,并可使合成反应在有机氯硅烷大量裂解之前进行(表 5)。

表中数据说明,随着有机基数量的增加,有机氯硅烷的热稳定性就降低。苯基三氯硅烷是一种稳定性很好的化合物。

含氧化亚铜的觸媒

銅完全氧化成 CuO 后就失去催化能力。但銅氧化成氧化亚銅时仍保留着活性,使合成历程向增加 RSiCl_2 型化合物的方向进行。銅曾用腐蝕的方法氧化到氧化亚銅^[6]。将研碎的 Si-Cu 合金接触剂放入 20% 的硫酸溶液中,在攪拌和 $70-80^\circ\text{C}$ 下加热数小时。此反应进行时分解出爆炸性气体。反应終結时合金呈微紅色。在显微鏡下海綿狀的氧化亚銅結晶体清晰可見,且紧密地复在整个合金的表面。

用 $\Delta K-2$ 阴极伏特計在稀硫酸中直接测量电位差时,証明銅同硅或同硅鉄組配时銅是阳极。銅和硅之間的电位差自 0.12 (如果是 Si) 增加到 0.52 (含 50% Fe 的 FeSi)。电化学过程显然是由于銅上出現 O^- 和硅鉄上出現 H^+ 而产生。

当需要获得烃基和芳基的三氯硅烷时,采用氧化合金非常有效。試驗室合成苯基三氯硅烷(表 6)的試驗証明,采用氧化 Si-Cu 合金时,苯基三氯硅烷的收量能显著增加,未参加反应的氯化苯量也降低了。采用氧化合金时,甲基三氯硅烷和乙基三氯硅烷的收量相应地增加到 2—3 倍。

表 6 直接合成时采用氧化 Si-Cu 合金的結果

合 金	加料量, 公斤	合成温 度, $^\circ\text{C}$	管式炉的 工 作 时 間, 小时	氯化苯的回 流量 (占粗 品), %	分离出的苯 基三氯硅 烷, 占粗品 的 %
$\text{Si}(60\%)\text{Cu}(40\%)$	0.9	400	0—8	45.8	5.1
同上,经过氧化	0.9	350	0—8	13.1	23.7
同上,经过氧化	0.9	400	8—16	16.1	23.0
同上,经过氧化	0.9	300	16—24	26.0	30.4
同上,经过氧化	0.9	350	24—59	23.6	20.6

乙基氯硅烷的合成

直接法合成乙基氯硅烷比合成甲基氯硅烷困难得多。合成中的粗品收量不超过氯乙烷通入量的 50—60%，其中大部分是乙基二氯硅烷和乙基三氯硅烷。二乙基二氯硅烷收量在 5% 到 10% 之間。最适宜的合成温度是 250—270℃。

曾經确定^[7]，如在 Si-Cu 合金中加入鉻，合成产物中的二乙基二氯硅烷量就会增加。例如，加 24 公斤合金 (Cu—23.8%、Si—69.9%、Fe—2.2% 和 Cr—4.2%) 当合成温度为 250—260℃ 及氯乙烷通入速度为 20—22 升/小时，在合成炉工作的初期能得到 24% 的二乙基二氯硅烷，经过 1375 小时逐渐地减少到 6.6%。乙基三氯硅烷含量相应地自 21.3% 提高到 33.2% (图 2)

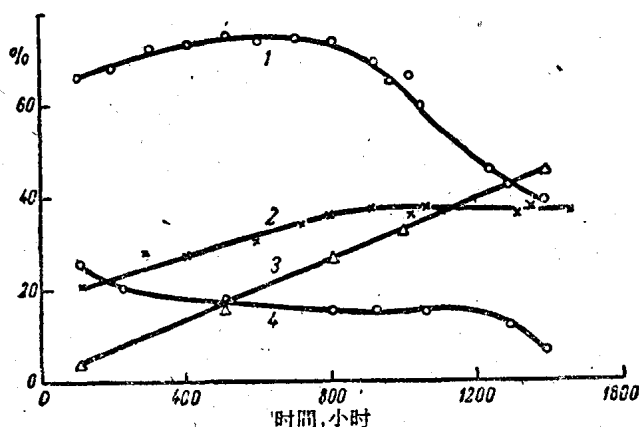


图 2 乙基氯硅烷的直接合成

1——粗品收量(按氯乙烷計); 2——乙基三氯硅烷量(粗品中);
3——参与反应的硅; 4——二乙基二氯硅烷量(粗品中)。

乙烯基氯硅烷的合成

根据我們的試驗，乙烯基氯硅烷只有在高温时才能合成；且收量很小。在 410—420℃ 时把 80 公斤的氯乙烯，以 5 升/分钟的速度通入装有 77 公斤合金 (合金中含 60% Si 和 40% Cu) 的合成炉

中,可获得 36 公斤合成粗品(收量为氯乙烯的 44.6%)。精馏后得到 40% SiCl_4 、16.2% $\text{C}_2\text{H}_5\text{SiCl}_3$ 、2% $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{SiCl}_2$ 和 15% $\text{C}_2\text{H}_5\text{SiCl}_3$ 。合成的主要产物是 SiCl_4 , 而乙烯基三氯硅烷和二乙烯基二氯硅烷相应地为氯乙烯的 7.3% 和 0.9%。

苯基氯硅烷的合成

直接法合成苯基氯硅烷是在长 2 米、直径 0.8 米且装有桨式搅拌器的电热式钢制合成炉内进行的。在合成炉中装入用硫酸活化了的 Si-Cu 合金(约 300 公斤),并且通入氮气在 250°C 下干燥。曾经确定(表 7),在氯化苯通入速度为 3—4 升/小时最适宜的合成温度为 $420-430^\circ\text{C}$ 。

表 7 苯基三氯硅烷的收量同合成温度的关系

合成温度, $^\circ\text{C}$	氯含量(粗品中), %	苯基三氯硅烷(粗品中), %
330	8—10	9
400	10—12	12
420—430	18—22	24—25

继续升高温度能使苯基三氯硅烷收量降低并使 SiCl_4 含量增高。

反应产物在高 3.2 米、直径 130 毫米的瓷环填充的塔中进行精馏,馏釜中加入了 250—370 公斤的粗品。

精馏初期不抽真空。馏分有下列几种:

1. 127°C 以下的馏分有 14—15.5%, 其中苯 2.1—4.2%, 四氯化硅 0.7—3.9%。

2. $127-130.5^\circ\text{C}$ 的馏分是氯化苯, 占 40.6—52.2%。

釜中馏余物在 $115-117^\circ\text{C}$ 和 33 毫米真空下可精馏出浓度为 98—100 的苯基三氯硅烷。

对真空精馏后的釜中馏余物的蒸馏结果表明, 其中平均约含 3.5% 的二苯基二氯硅烷和 72% 的联苯。

三次試驗的結果見表 8。

表 8 苯基三氯硅烷的合成結果

合金加料 量, 公斤	合成炉工 作時間, 昼 夜	氯化苯 通入量, 公斤	粗 品 收 量, 公斤	苯基三氯硅烷的 收量, 公斤		硅 利 用 率, %
				总 量	从 1 公斤合金中可获得	
328	65	3200	3109	489	1.49	34
306	69	2900	2809	638	2.08	52
310	87	2900	2859	668	2.17	54

表 8 中列举了三次試驗，其中某一合成試驗时各种馏分的收量用图 3 表示。这些数据說明直接法合成苯基三氯硅烷时效果相当好。获得的粗品量約等于合成炉中氯化苯通入量的 100%，其中含有 50—58% 未参与反应的氯化苯，在合成时仍可重新使用。

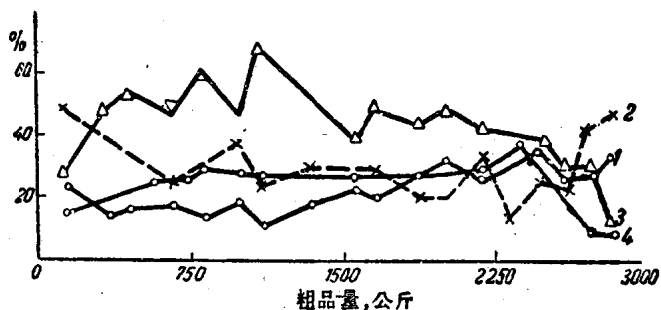


图 3 苯基氯硅烷的直接合成

1——127℃ 以下的馏份； 2——氯化苯；

3——含苯基三氯硅烷的釜中馏余物； 4——苯基三氯硅烷。

純苯基三氯硅烷收量約为氯化苯的 18—25%。合成反应中粗品精馏的試驗表明, 苯基三氯硅烷是按反应式:



从氯化苯生成, 其收量在反应初期为 30—38%, 反应中期为 37—40%, 反应后期为 14—20%。

結果的討論

在高温下异相接触反应的一种有机氯硅烷直接法合成的理論还不很成熟。然而,根据实验数据,这个过程的一些主要反应仍可加以討論。

1. 只有在加入接触剂时,直接合成才能有效地进行。所有接触剂中最常用的是金属銅。

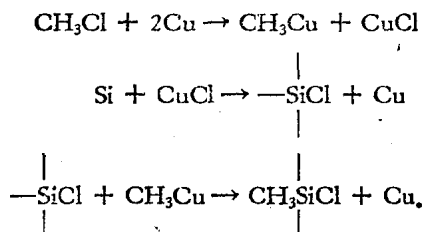
接触剂的作用是:一方面它使合成温度降低,因而使合成反应中所获得的有机氯硅烷不受到显著的裂解(見前面的表4和表5);另一方面,接触剂使烃基(芳基)卤化物的分子分解反应向着我們所希望的方向进行。例如,大家都知道,氯甲烷裂解就是按:



进行。

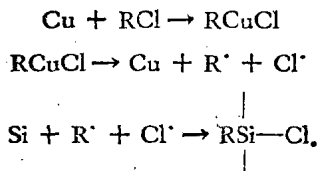
有銅存在时,氯甲烷分解后能把甲基保存下来,因而就有可能进行直接合成。

2. 为了闡明接触剂的作用机理,吳特和洛乔^[8]在采用氯甲烷时提出下列反应式:



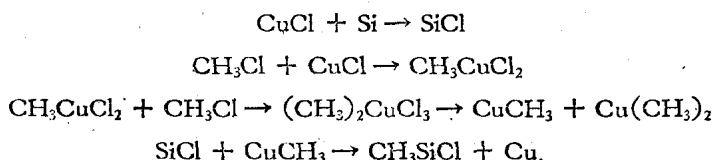
当氯甲烷对銅作用时在試驗条件下曾經发现氯化亚銅。

安德里安諾夫^[9]认为直接合成时有下列反应产生:

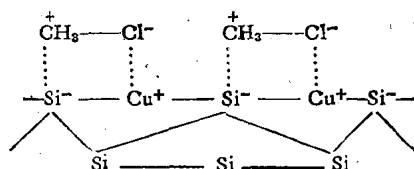


在这种情况下,反应的第一步是生成有机铜化合物。

霍耳蔡帕費耳^[10]以同样的观点进行了类似的試驗,他从硅和氯化氢合成的三氯硅烷中获得絡盐 HCuCl_2 和 H_2CuCH_3 , 并提出反应式



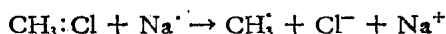
克列班斯基和菲赫田哥耳茨^[11]发现 Si-Cu 合金的催化活性决定于硅和铜的金属互化物 (интерметаллическое соединение) 的形成



可能由于合成条件的不同,上述四种見解都可成立。 但不管怎样游离基(芳基)的产生則是毫无疑问的,例如:



大多数有机化合物的裂解反应,目前都解释为产生游离基。类似的这种情况,可以在,例如钠蒸汽和氯甲烷之間的反应中找到^[12],其中钠原子失去它的未偶合的电子,而碳氯键則破裂,形成游离基 $\text{CH}_3\cdot$ 和氯的阴离子:



并接着生成 NaCl 。

3. 游离基的存在寿命对直接合成反应有重要的意义。

$\text{CH}_3\cdot$ 的生存期等于 8.4×10^{-3} 秒。甲基在結合成乙烷前同玻璃管或瓷管的壁相撞約 1000 次。甲基在鉚、鉄、銅、鎳、銀的表面上不会受到催化作用而結合。同碱金属: 鋰、鈉、鈣, 以及同錫、硫、

硒、碲能迅速发生反应。

曾經証实^[13]，在碳氢化合物热裂解时存在着游离的乙基 C_2H_5 、丙基 C_3H_7 、苯甲基 $C_6H_5CH_2$ 、苯基 C_6H_5 。在直接合成的反应中，生存期短的大基团（乙基、苯基、丙基等）大部分是在同活化了的硅原子化合前就先裂解。甲基对直接合成最有效。在任何情况下，合金中铜和硅靠得愈紧，则合成效果就可增大（表 1 和表 3）。

基团的大小和结构的影响可以根据直接合成时二烷基（芳基）卤硅烷的收量来判断。表 9 所列的是在最适宜的合成条件下收量对参加反应的基团的百分率。

表 9 直接合成中基团的百分利用率

有机卤化物， RX	粗品总收量 (对 100 克 RX)，克	总收量中的 R_2SiCl_2 量			100 克中 RX 的克分子量 (β)	基团的利用率 $\left(\frac{\alpha \cdot 2}{\beta} \times 100\right)$ ， %
		%	克	克分子 · α		
CH_3Cl	100	68	68	0.53	1.98	54
C_2H_5Cl	70	20	14	0.09	1.55	12
C_6H_5Cl	100	24	24	0.09	0.89	10

附注：表内所列的数据是采用铜接触剂时的结果。在合成苯基氯硅烷时采用银时，苯基的利用率为 21%（换算成二苯基二氯硅烷的收量）。

4. 增高合成温度，就能增加游离基的生成量。在直接合成时，要保持一定的、相当高的温度，以便从烷基卤化物中分解出游离基。有机氯硅烷的生成过程本身是一种放热反应，特别是在反应这一阶段中，氯会同硅化合。因此根据吕·查德里原理，温度如超过最适宜的温度，收量就要降低。但是在直接合成中温度的升高不但不会降低其收量，反而会增加收量。这种矛盾之所以会产生，是因为接触剂（铜）只能加速第一阶段反应（即 RX 的分解阶段），不参加第二阶段反应（即有机氯硅烷的生成阶段）。在高温下，游离基同硅化合之前的分解几率就增加。因此，生存期比较长的基团（原子）在很大程度上能保存下来。H 和 Cl 就是如此。因此温度就能升高，含 H 和 Cl 的直接合成产品能迅速产生，一直到生成