

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **235672**
(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **421836**

(22) Data zgłoszenia: **08.06.2017**

(51) Int.Cl.
C07F 7/21 (2006.01)
C07F 7/08 (2006.01)
C07F 7/02 (2006.01)

(54) **Nowe pochodne silseskwioksanów z wbudowanym atomem krzemu
w krawędź klatki oraz nowy sposób otrzymywania pochodnych silseskwioksanów
z wbudowanym atomem krzemu w krawędź klatki**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
04.12.2017 BUP 25/17

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
05.10.2020 WUP 15/20

(73) Uprawniony z patentu:
**UNIWERSYTET IM. ADAMA MICKIEWICZA,
Poznań, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:
JOANNA KAŻMIERCZAK, Stęszew, PL
KRZYSZTOF KUCIŃSKI, Krosno, PL
GRZEGORZ HRECZYCHO, Poznań, PL

PL 235672 B1

Opis wynalazku

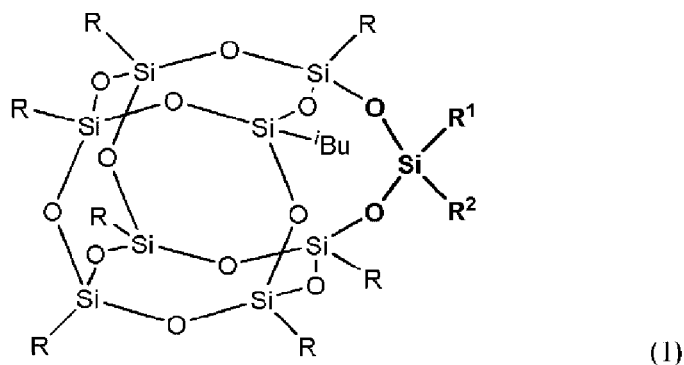
Przedmiotem wynalazku są nowe pochodne silseskwioxanów o strukturze całkowicie skondensowanej klatki i wbudowanym atomie krzemu w krawędź klatki oraz nowy sposób otrzymywania pochodnych silseskwioxanów o strukturze całkowicie skondensowanej klatki i wbudowanym atomie krzemu w krawędź klatki.

Poliedryczne oligomeryczne silseskwioxany (*ang.* Polyhedral Oligomeric Silsequioxanes, POSS) stanowią grupę związków krzemoorganicznych o dobrze zdefiniowanej strukturze, które znajdują coraz szersze zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu i w chemii materiałowej.

Hybrydowa struktura, nanometryczne rozmiary silseskwioxanów i kompatybilność z szeroką gamą polimerów organicznych sprawia, że związki te mogą być stosowane w syntezie nanokompozytów (*ang.* POSS-polymer nanocomposites) o lepszych właściwościach mechanicznych i termicznych niż niezmodyfikowane polimery. Nanokompozyty na bazie silseskwioxanów znajdują szereg zastosowań m.in. w mikroelektronice, optoelektronice, biomedycynie, przemyśle kosmetycznym, w syntezie materiałów optycznych, izolatorów oraz molekularnych i makromolekularnych związków hybrydowych.

Obecnie poszukuje się nowych związków o hybrydowej strukturze, które można wykorzystać w syntezie nowych funkcjonalnych nieorganiczno-organicznych materiałów hybrydowych o unikalnych właściwościach. W szczególności poszukuje się związków o nanometrycznym rozmiarach, które wykazują dobre powinowactwo do polimerów i które można wykorzystać do funkcjonalizacji polimerów i ulepszania ich właściwości (mechanicznych, optycznych, termicznych). Tego typu zmodyfikowane polimery na bazie silseskwioxanów znajdują szereg zastosowań m.in. w wielu gałęziach przemysłu, w mikroelektronice, optoelektronice, biomedycynie, przemyśle kosmetycznym, w syntezie materiałów optycznych oraz izolatorów. Zwłaszcza silseskwioxany o strukturze zamkniętej klatki są szczególnie interesującą grupą związków, ponieważ ze względu na swoją regularną, klatkową strukturę mogą służyć w katalizie jako nośniki katalizatorów oraz w medycynie jako nośniki leków. Ponadto, są nietoksyczne, cechuje je stabilność termiczna i biologiczna oraz biokompatybilność, dlatego mogą służyć jako nośniki leków uwalniające je w konkretnym miejscu w organizmie, nośniki gazów, jonów, zarówno małych cząsteczek jak i biomolekuł, a także katalizatorów w procesach katalitycznych.

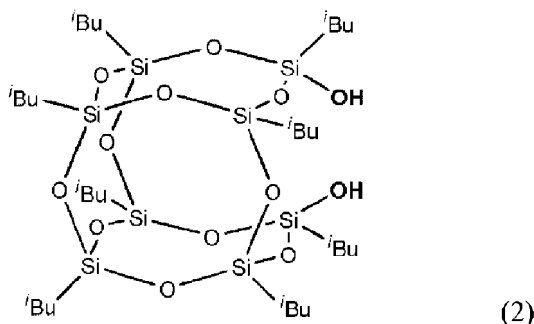
Ze względu na szerokie zastosowanie całkowicie skondensowanych silseskwioxanów, dąży się do opracowania efektywnych metod syntezy także silseskwioxanów o dobudowanej dodatkowej krawędzi w klatce (wzór 1).



Znane są silseskwioxany z wbudowanym dodatkowym atomem krzemu w krawędź (wzór 1) gdzie R są równe i oznaczają izobutyl zaś R¹, R² są równe oznaczają: Me lub Et czyli proste, inertne, nierozbudowane podstawniki.

POSS z dodatkowym atomem wbudowanym w krawędź klatki i o strukturze całkowicie skondensowanej posiada duży potencjał aplikacyjny np. jako nośnik leków w medycynie lub katalizatorów w procesach katalitycznych.

Znana metoda otrzymywania silseskwioxanów o strukturze zamkniętej klatki z dobudowaną dodatkową krawędzią jest oparta na reakcji hydrolitycznej kondensacji organodichlorosilanów lub organodialkoksylanów z POSS disilanolami o strukturze nie w pełni skondensowanej klatki i dwóch grupach Si-OH (wzór 2) (D. B. Cordes, P. D. Lickiss, F. Rataboul, *Chemical Reviews*, 2010, 110, strony 2083–2086).



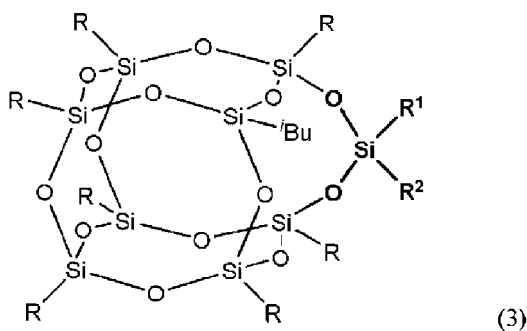
Długi czas reakcji, niewielkie wydajności (ok. 40%) i brak selektywności sprawiają, że ta metoda jest mało przydatna w produkcji przemysłowej. Na strukturę produktu silnie wpływają czynniki takie jak czas trwania procesu i temperatura. Produktem ubocznym w reakcji hydrolytycznej kondensacji chlorosilanów jest reaktywny HCl, który może reagować z wieloma grupami funkcyjnymi, tworząc szereg niepożądanych produktów ubocznych., w tym także powstają produkty homokondensacji wrażliwych na wilgoć substratów. Metoda ogranicza się do wbudowywania w niecałkowicie skondensowane cząsteczki POSS nowych krawędzi z dodatkowym atomem Si, ale podstawionym jedynie małymi, inertnymi, niereaktywnymi grupami alkilowymi (Me, Et bez reaktywnych grup funkcyjnych).

Hreczycho i in. (G. Hreczycho, K. Kuciński, P. Pawluć, B. Marciniec, *Organometallics*, 2013, 32, 5001–5004) opisał metodę O-sililowania silanodioli (związków zawierających dwie grupy Si-OH w cząsteczce) podstawionych prostą grupą izopropylową za pomocą 2-metyloallilosilanów w obecności $\text{Sc}(\text{OTf})_3$ jak katalizatora. Reakcja umożliwia wprowadzanie grup siloksyłowych do związków posiadających wiązanie Si-OH i prowadzi do utworzenia wiązania Si-O-Si. Metoda ogranicza się jedynie do sprzęgania silanodioli z prostymi podstawnikami izopropylowymi, gdzie do atomu Si przyłączone są inertne grupy alkilowe i grupa Si-OH nie jest sterycznie zablokowana. Silseskwiksany niecałkowicie skondensowane posiadają grupę Si-OH, ale atom krzemu grupy silanolowej sąsiaduje z trzema atomami tlenu w klatce. W publikacji opisano również reakcję sprzęgania silanodioli z bis(2-metyloallilo)silanami czyli związkami z dwiema grupami 2-metyloallilowymi. W wyniku reakcji odczynnik sililujący przyłączył się do jednej grupy Si-OH i w efekcie uzyskano produkt liniowy.

W opisaney metodzie sprzęgania silanoli z 2-metyloallilosilanami rozpuszczalnikiem jest acetonitryl. W przypadku gdy substraty nie rozpuszczały się w czystym acetonitrylu reakcję prowadzono w acetonitrylu z dodatkiem niewielkiej ilości THF, ale nie więcej niż 1 część THF na 9 części acetonitrylu. Większy dodatek THF w stosunku do acetonitrylu dezaktywuje katalizator reakcji. Metoda ta nie jest skuteczna w przypadku substratów nierozpuszczalnych w acetonitrylu lub mieszaninie acetonitrylu z niewielkim dodatkiem THF.

Celem wynalazku było opracowanie nowych silseskwiksanów o strukturze całkowicie skondensowanej klatki i wbudowanym atomie krzemu w krawędź klatki oraz opracowanie prostej metody syntezy silseskwiksanów o strukturze całkowicie skondensowanej klatki i wbudowanym atomie krzemu w krawędź klatki.

Przedmiotem wynalazku są nowe pochodne silseskwiksanów o strukturze całkowicie skondensowanej klatki i wbudowanym atomie krzemu w krawędź klatki o wzorze ogólnym 3, w którym:



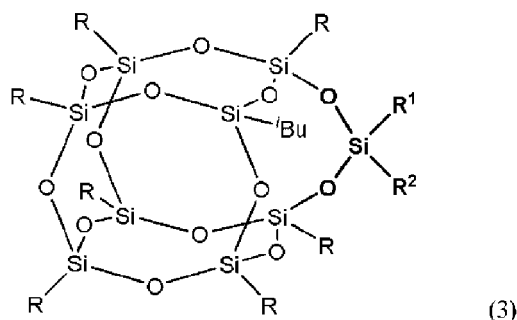
- R są równe i oznaczają izobutyl
- R^1 , R^2 są równe lub różne i oznaczają:
 - gdy R^1 , R^2 są równe oznaczają: $i\text{Pr}$
 - gdy R^1 , R^2 są różne to jeden oznacza Me a drugi oznacza $(\text{CH}_2)_n\text{Cl}$, gdzie $n=1-3$.

Związki według wynalazku są grupą nowych układów krzemoorganicznych – silseskwioksanów o strukturze całkowicie skondensowanej zamkniętej klatki z dobudowaną krawędzią i wbudowanym w krawędź klatki dodatkowym atomem Si w rdzeniu POSS. Związki te wykazują potencjał aplikacyjny i mogą znaleźć zastosowanie w chemii materiałowej w syntezie nowych funkcjonalnych nieorganiczno-organicznych materiałów hybrydowych o unikalnych właściwościach. Ze względu na obecność dodatkowego atomu Si wbudowanego w krawędź klatki ujawnione w wynalazku nowe funkcjonalizowane silseskwioksany mogą wykazywać dobre powinowactwo do polimerów i służyć jako bloki budulcowe i prekursorzy nanokompozytów. Nanokompozyty zawierające cząsteczki POSS cechują się lepszymi właściwościami mechanicznymi i termicznymi niż polimery, ze względu na stabilność termiczną silseskwioksanów. Polimery modyfikowane silseskwioksanami charakteryzuje stabilność termiczna i fotochemiczna, trwałość, dobre właściwości optyczne i elektryczne, dlatego znajdują szerokie zastosowanie w mikroelektronice, syntezie materiałów optycznych, izolatorów, elastomerów i matryc w urządzeniach OLED. Są także wykorzystywane w przemyśle kosmetycznym oraz w inżynierii biomedycznej celu wytwarzania materiałów biomedycznych.

Nowe pochodne silseskwioksanów posiadają strukturę zamkniętej klatki, dlatego mogą służyć jako nośniki leków i katalizatorów. Stanowią one cenne substraty w syntezie i chemii materiałowej. Mogą również służyć do funkcjonalizacji polimerów.

Nowe pochodne silseskwioksanów ujawniona w niniejszym wynalazku posiada reaktywne grupy np. grupę $(\text{CH}_2)_3\text{Cl}$, która dalej może ulec substytucji nukleofilowej i możemy uzyskać pochodne POSS z nowym podstawnikiem w miejscu atomu Cl. Nowe związki mogą być potencjalnymi prekursorami wielu funkcjonalnych materiałów. Mogą być dalej użyte w syntezie nieorganiczno-organicznych materiałów hybrydowych.

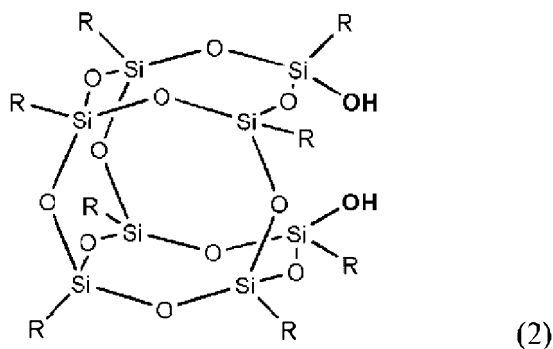
W drugim aspekcie przedmiotem wynalazku jest sposób otrzymywania pochodnych silseskwioksanów o strukturze całkowicie skondensowanej klatki i wbudowanym atomie krzemu w krawędź klatki o wzorze ogólnym 3, w którym:



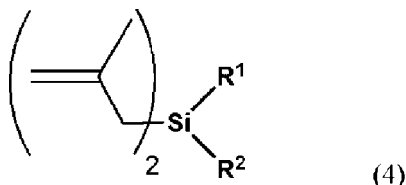
- R oznacza grupę alkilową o 2–8 atomach węgla w łańcuchu
- R^1, R^2 są równe lub różne i oznaczają:
 - gdy R^1, R^2 są równe oznaczają: Me, Et, *i*Pr
 - gdy R^1, R^2 są różne to jeden oznacza Me a drugi oznacza $(\text{CH}_2)_n\text{Cl}$, gdzie $n=1-3$.

W trakcie prowadzonych badań nieoczekiwanie okazało się, że po zastosowaniu specyficznego układu rozpuszczalników w fazie syntezy jak również izolacji produktów możliwe jest przeprowadzenie syntezy związków o wzorze ogólnym 3 na drodze katalitycznej reakcji sprzęgania cząsteczki nie w pełni skondensowanego silseskwioksanu – disilanolu POSS o wzorze 2.

Sposób według wynalazki polega na reakcji sprzęgania disilanolu POSS,



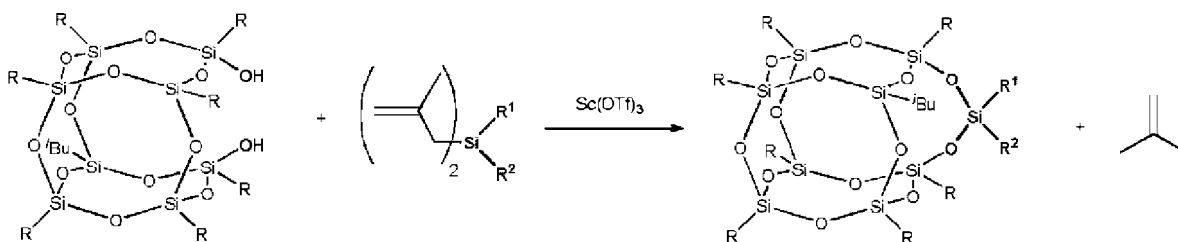
gdzie R oznacza grupę alkilową o 2–8 atomach węgla w łańcuchu, z bis(2-metyloallilo)silanami o wzorze 4



w którym R^1 , R^2 mają wyżej podane znaczenie w obecności kwasu Lewisa z grupy triflatów jako katalizatora, przy czym reakcję prowadzi się w niepolarnym rozpuszczalniku aromatycznym.

Produktem reakcji jest silseskwioxsan o strukturze całkowicie skondensowanej zamkniętej klatki i wbudowanym dodatkowym atomie Si, który sprawia, że jedna krawędź klatki jest bardziej wysunięta.

Reakcję przedstawia schemat, w którym:



R, R^1 , mają wyżej podane znaczenie.

Reakcję według wynalazku prowadzi się w środowisku bezwodnych niepolarnych rozpuszczalników aromatycznych wybranych z grupy benzen, toluen, ksylen lub ich mieszaniny. Korzystne jest prowadzenie reakcji w bezwodnym toluenie.

Katalizatorem reakcji jest kwas Lewisa z grupy triflatów, najkorzystniej używać jako katalizatora $Sc(OTf)_3$ trifluorometanosulfonianu skandu (III) w ilości nie mniejszej niż 2%, mol w stosunku do związku o wzorze 2, korzystnie 4%.

Rozpuszczalnik do syntezy musi być osuszony (np. nad sitami molekularnymi), aby pozbyć się śladów wilgoci. Jest to warunek konieczny, ponieważ katalizator jest wrażliwy na wilgoć.

Nie powinno się stosować nadmiaru disilanolu POSS, gdyż trudno oddzielić nieprzereagowany silseskwioxsan od produktu. W celu wbudowania krawędzi korzystnie stosować stechiometryczny stosunek 1:1 disilanolu POSS do z bis(2-metyloallilo)silanu.

W sposobie według wynalazku disilanol POSS rozpuszcza się w bezwodnym rozpuszczalniku niepolarnym aromatycznym i następnie do roztworu wprowadza się bis(2-metyloallilo)silan, po czym dodaje się katalizator. Najkorzystniej dodaje się katalizator w ilości 4% mol w stosunku disilanolu POSS. Mieszaninę reakcyjną miesza się korzystnie w temperaturze pokojowej, bez konieczności ogrzewania. Podwyższona temperatura mogłaby wpłynąć negatywnie na trwałość związków i katalizatora. Czas trwania syntezy wynosi na ogół od 30 min do 2 h, w tym czasie mieszaninę cały czas się miesza. Po zakończeniu reakcji odparowuje się rozpuszczalnik, następnie katalizator od produktu oddziela się za pomocą rozpuszczalnika z grupy: łańcuchowych nasyconych węglowodorów o 5–7 atomach węgla w cząsteczce lub ich mieszaniny. Rozpuszczalnik ten rozpuszcza produkt, a nie rozpuszcza katalizatora. Po oddzieleniu osadu katalizatora od roztworu produktu, rozpuszczalnik odparowuje się i uzyskujemy produkt reakcji, którym jest odpowiedni funkcjonalizowany silseskwioxsan.

Alternatywna metoda izolacji produktu polega na odparowaniu rozpuszczalnika po zakończeniu reakcji i następnie produkt oddziela się od katalizatora za pomocą rozpuszczalnika: acetonitrylu, który rozpuszcza katalizator, a nie rozpuszcza silseskwioxsanów. Produkt reakcji pozostaje jako ciało stałe.

Podsumowując, obie metody izolacji produktu-oddzielenia produktu od katalizatora wykorzystują różnicę rozpuszczalności silseskwioxsanów i katalizatora. Toluen będący rozpuszczalnikiem podczas prowadzenia reakcji i medium reakcji rozpuszcza zarówno silseskwioxsany jak i katalizator. Aby oddzielić pochodną POSS – produkt od katalizatora można zastosować np. rozpuszczalnik z grupy eter naftowy, n-heksan, pentan, w których rozpuszczają się silseskwioxsany, a nie rozpuszcza się katalizator (i następnie oddzielić osad katalizatora i odparować rozpuszczalnik) albo można dodać

acetonitryl, który nie rozpuszcza POSS, a dobrze rozpuszcza katalizator. Wtedy produkt strąca się jako osad.

W trakcie prowadzonych badań okazało się, odpowiedni dobór środowiska reakcji z jednej strony umożliwia przeprowadzenie syntezy a następnie dzięki specyficznej sekwencji rozdziu z zastosowaniem różnych, ale precyzyjnie dobranych rozpuszczalników możliwa jest izolacja produktu. Wcześniej nie była znana reakcja dobudowywania krawędzi i wbudowywania atomu Si z różnymi podstawnikami w cząsteczkach POSS niecałkowicie skondensowanych na drodze reakcji katalitycznej.

Metoda jest efektywna i można ją wykorzystać w syntezie pochodnych silseskwioxanów o strukturze całkowicie skondensowanej zamkniętej klatki i wbudowanym dodatkowym atomie krzemu w krawędzi klatki. Umożliwia otrzymanie układów krzemoorganicznych – nowych pochodnych silseskwioxanów, które wykazują potencjał aplikacyjny w chemii materiałowej np. w syntezie nowych funkcjonalnych nieorganiczno-organicznych materiałów hybrydowych o unikalnych właściwościach. Otrzymane tą metodą związki mogą znaleźć wiele zastosowań. Obecność dodatkowego atomu Si w krawędzi klatki, powoduje, że jedna krawędź klatki jest bardziej wysunięta. Ze względu na zmodyfikowaną strukturę klatki silseskwioxany mogą wykazywać dobre powinowactwo do polimerów i służyć jako bloki budulcowe i prekursorzy nanokompozytów.

Metoda pozwala wprowadzać do cząsteczek silseskwioxanów reaktywną grupę $(CH_2)_3Cl$, która może być dalej modyfikowana (np. w reakcji substytucji nukleofilowej, w wyniku której jest możliwość zastąpienia atomu Cl innym podstawnikiem), co sprawia, że reakcja umożliwia otrzymanie potencjalnych prekursorów wielu funkcjonalnych materiałów.

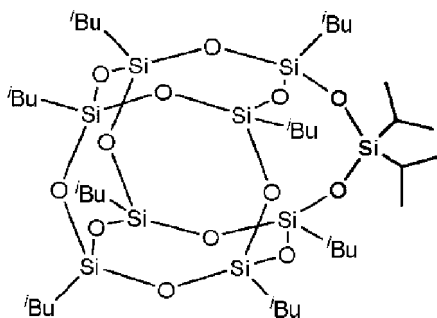
Przedstawiona nowa katalityczna reakcja pozwala otrzymać cenne reagenty funkcjonalizowane całkowicie skondensowane silseskwioxany na drodze O-sililowania silseskwioxanu o wzorze 2 posiadającego dwie grupy Si-OH za pomocą bis(2-metyloallilo)silanów jako odczynników sililujących w obecności triflatów.

Metoda posiada szereg zalet:

- zachodzi w łagodnych warunkach w temperaturze pokojowej, bez konieczności ogrzewania
- krótki czas reakcji – 2 h
- synteza jest wydajna i efektywna – wydajności wyizolowanych produktów są rzędu 87–92%,
- w wyniku reakcji nie powstają szkodliwe produkty uboczne,
- reakcja jest selektywna,
- jedynym produktem ubocznym tego procesu jest izobuten – obojętna olefina, łatwa do usunięcia,
- stosowana jest niewielka ilość katalizatora – 2% mol.

Wynalazek ilustrują poniższe przykłady, które nie wyczerpują wszystkich wariantów struktury związków o wzorze 3. Strukturę otrzymanych związków krzemoorganicznych potwierdzono przy użyciu następujących technik: spektroskopii jądrowego rezonansu magnetycznego (1H , ^{13}C , ^{29}Si NMR, stosując spektrometry Varian Gemini 300 i Varian Mercury XL 300) oraz techniki EI-MS (stosując aparat 320 MS/450 GC Bruker).

Przykład 1



Do kolby zawierającej mieszało magnetyczne dodano 0,200 g związku o wzorze 2 (oktaizobutyludisilanolu POSS) ($2,25 \times 10^{-4}$ mol, 1eq), 0,05 g diizopropylbis(2-metyloallilo)silanu ($2,25 \times 10^{-4}$ mol, 1eq), oraz 2 ml bezwodnego toluenu. Następnie dodano $4,43 \times 10^{-3}$ g $Sc(OTf)_3$ ($9,0 \times 10^{-6}$ mol, 0,04eq=4% mol)

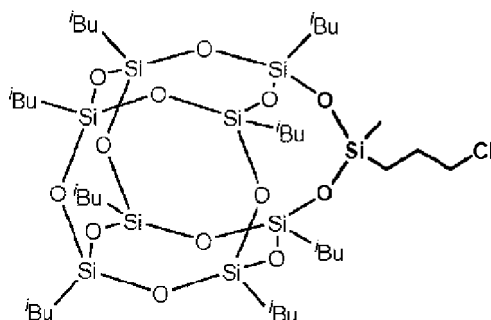
i mieszaninę reakcyjną mieszano przez 2 h. Po zakończeniu reakcji odparowano rozpuszczalnik, następnie dodano *n*-heksan, aby oddzielić produkt od osadu katalizatora. Rozpuszczalnik odparowano i uzyskano produkt reakcji z wydajnością 92%.

^1H NMR (400 MHz, C_6D_6) δ (ppm) = 0,82 (d, 16H, $J=7,0$ Hz, $\text{SiCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$); 0,99–1,02 (m, 2H, $\text{SiCH}(\text{CH}_3)_2$); 1,08 (d, 48H, $J=6,6$ Hz, $\text{SiCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$); 1,26 (d, 12H, $J=6,7$ Hz $\text{SiCH}(\text{CH}_3)_2$); 2,02–2,14 (m, 8H, $\text{SiCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$).

^{13}C NMR (101 MHz, C_6D_6) δ (ppm) = 14,3; 17,5; 22,7; 23,3; 24,1; 25,6; 25,8.

^{29}Si NMR (79 MHz, C_6D_6) δ (ppm) = -23,1; -66,7; -67,5; -68,9.

Przykład 2



Do kolby zawierającej mieszkadło magnetyczne dodano 0,200 g związku o wzorze 2 (oktaizobutylo disilanolu POSS) ($2,25 \times 10^{-4}$ mol, 1eq) 0,055 g metylo(3-chloropropylo)bis(2-metyloallilo)silanu ($2,25 \times 10^{-4}$ mol, 1eq), oraz 2 ml bezwodnego toluenu. Następnie dodano $4,43 \times 10^{-3}$ g $\text{Sc}(\text{OTf})_3$ ($9,0 \times 10^{-6}$ mol, 0,04eq=4% mol) i mieszaninę reakcyjną mieszano przez 2 h. Po zakończeniu reakcji odparowano rozpuszczalnik, następnie dodano *n*-heksan, aby oddzielić produkt od osadu katalizatora. Rozpuszczalnik odparowano i uzyskano produkt reakcji z wydajnością 87%.

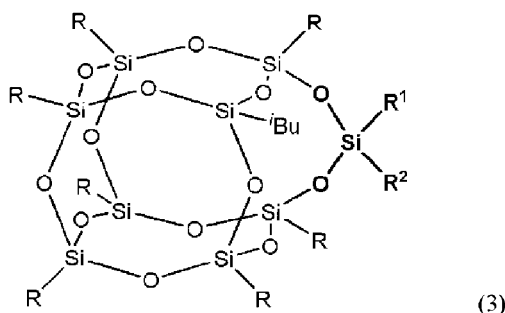
^1H NMR (400 MHz, C_6D_6) δ (ppm) = 0,22 (s, 3H, SiCH_3); 0,62–0,69 (m, 2H, SiCH_2); 0,76–0,85 (m, 16H, $\text{SiCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$); 1,07 (d, 48H, $J=6,6$ Hz, $\text{SiCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$); 1,77–1,86 (m, 2H, CH_2); 1,99–2,16 (m, 8H, $\text{SiCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$); 3,24 (t, 2H, $J=7,0$ Hz, CH_2Cl).

^{13}C NMR (101 MHz, C_6D_6) δ (ppm) = 14,4; 22,6; 22,7; 23,2; 23,8; 24,0; 24,1; 24,2; 25,5; 25,7; 26,7; 47,0.

^{29}Si NMR (79 MHz, C_6D_6) δ (ppm) = -22,4; -66,7; -67,6; -68,8.

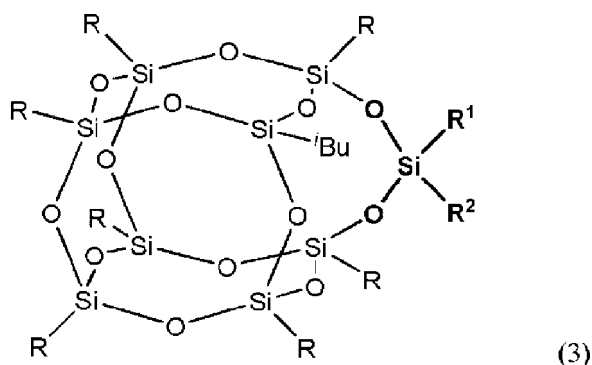
Zastrzeżenia patentowe

1. Pochodne silseskwioxanów o strukturze całkowicie skondensowanej klatki i wbudowanym atomie krzemu w krawędź klatki o wzorze ogólnym 3, w którym:

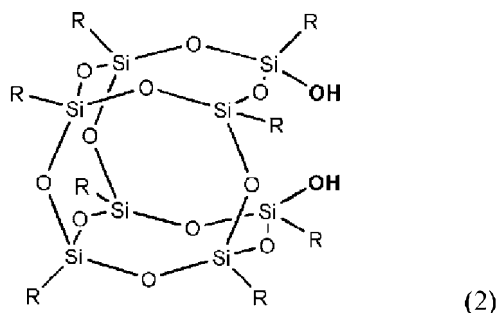


(3)

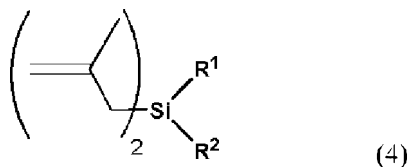
- R są równe i oznaczają izobutyl
 - R^1 , R^2 są równe lub różne i oznaczają:
 - gdy R^1 , R^2 są równe oznaczają: *i*Pr
 - gdy R^1 , R^2 są różne to jeden oznacza Me a drugi oznacza $(\text{CH}_2)_n\text{Cl}$, gdzie $n=1-3$.
2. Sposób otrzymywania pochodnych silseskwioxanów o strukturze całkowicie skondensowanej klatki i wbudowanym atomie krzemu w krawędź klatki o wzorze ogólnym 3, w którym:



- R, oznacza grupę alkilową o 2–8 atomach węgla w łańcuchu
- R¹, R² są równe lub różne i oznaczają:
 - gdy R¹, R² są równe oznaczają: Me, Et, *i*Pr
 - gdy R¹, R² są różne to jeden oznacza Me a drugi oznacza (CH₂)_nCl., gdzie n=1–3, **znamienny tym**, że polega na reakcji sprzęgania disilanolu POSS o wzorze 2,



gdzie R oznacza grupę alkilową o 2–8 atomach węgla w łańcuchu, z bis(2-metyloallilo)silanami o wzorze 4



w którym R¹, R² mają wyżej podane znaczenie w obecności kwasu Lewisa z grupy triflatów jako katalizatora, przy czym reakcję prowadzi się w niepolarnym rozpuszczalniku aromatycznym.

3. Sposób według zastrz. 2 **znamienny tym**, że katalizator stosuje się w ilości nie mniejszej niż 2% względem cząsteczki hepta(izobutylo)monosilanol POSS.
4. Sposób według zastrz. 2 albo 3 **znamienny tym**, że w reakcji stosuje się trifluorometanosulfonianu skandu (III).
5. Sposób według zastrz. 2 albo 3 albo 4, **znamienny tym**, że reakcję prowadzi się w środowisku bezwodnych niepolarnych rozpuszczalników aromatycznych wybranych z grupy benzen, toluen, ksylen lub ich mieszaniny.
6. Sposób według zastrz. 5, **znamienny tym**, że reakcję prowadzi się w toluenie.