



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년07월10일
(11) 등록번호 10-2132587
(24) 등록일자 2020년07월06일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C08K 3/08 (2006.01) C08G 77/12 (2006.01)
C08G 77/14 (2006.01) C08G 77/20 (2006.01)
C08K 9/02 (2006.01) C08L 83/04 (2006.01)
C09J 183/04 (2006.01) H01B 1/22 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
C08K 3/08 (2013.01)
C08G 77/12 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-7016168
- (22) 출원일자(국제) 2013년12월13일
심사청구일자 2018년11월29일
- (85) 번역문제출일자 2015년06월17일
- (65) 공개번호 10-2015-0096674
- (43) 공개일자 2015년08월25일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2013/074868
- (87) 국제공개번호 WO 2014/099639
국제공개일자 2014년06월26일
- (30) 우선권주장
61/739,915 2012년12월20일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
US6017587 A
US5611884 A

- (73) 특허권자
다우 실리콘즈 코퍼레이션
미국 미시간 미들랜드 웨스트 잘츠부르크 로드
2200 (우:48686)
- (72) 발명자
알보 존
미국 미시간주 48623 프리랜드 록슬리 레인 8776
치슬리 브라이언
미국 미시간주 48611 오번 11 마일 로드 4835
잠보바 아드리아나
미국 미시간주 48640 미들랜드 폭스보로 코트
6004
- (74) 대리인
장훈

전체 청구항 수 : 총 10 항

심사관 : 나수연

(54) 발명의 명칭 **경화성 실리콘 조성물, 전기 전도성 실리콘 접착제, 이의 제조 및 사용 방법, 및 이를 포함하는 전기 디바이스**

(57) 요약

본 발명은, 경화성 유기실록산 조성물, 은, 및 은 이외의 하나 이상의 전기 전도성 금속을 함유하는 경화성 실리콘 조성물로서, 상기 경화성 실리콘 조성물 중 전기 전도성 금속의 총 농도를 72 중량% 이상으로 증가시키지 않고서도 체적 저항률 시험 방법에 따라 측정된 체적 저항률이 0.001 옴-센티미터 미만인 전기 전도성 실리콘 접착제로 경화될 수 있는 상태로 유지되면서, 전체 은 농도가 50 내지 60 중량% 미만이고, TI 시험 방법에 따라 측정된 요변 지수(thixotropic index)가 3 내지 10으로 조정가능한 것을 특징으로 하는, 경화성 실리콘 조성물, 전기 전도성 실리콘 접착제, 이 전기 전도성 실리콘 접착제를 포함하는 전기 디바이스, 및 이 전기 디바이스의 제조 방법에 관한 것이다.

(52) CPC특허분류

C08G 77/14 (2013.01)

C08G 77/20 (2013.01)

C08K 9/02 (2013.01)

C08L 83/04 (2013.01)

C09J 183/04 (2013.01)

H01B 1/22 (2013.01)

C08K 2003/0806 (2013.01)

C08K 2201/001 (2013.01)

C09J 2201/602 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

경화성 유기실록산 조성물, 은, 및 은 이외의 하나 이상의 전기 전도성 금속을 함유하는 경화성 실리콘 조성물로서, 상기 경화성 실리콘 조성물 중 전기 전도성 금속의 총 농도를 72 중량% 이상으로 증가시키지 않고서도 체적 저항률 시험 방법에 따라 측정된 체적 저항률이 0.001 옴-센티미터 미만인 전기 전도성 실리콘 접착제로 경화될 수 있는 상태로 유지되면서, 전체 은 농도가 50 중량% 이상 60 중량% 미만이고, TI 시험 방법에 따라 측정된 요변 지수(thixotropic index)가 3 내지 10으로 조정가능한 것을 특징으로 하는, 경화성 실리콘 조성물.

청구항 2

경화성 실리콘 조성물로서, 상기 경화성 실리콘 조성물은 하기 성분들:

100 내지 360℃의 비점을 특징으로 하는, 상기 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 4.0 내지 20 중량%의 농도의 탄화수소 비히클;

상기 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 10 내지 40 중량%의 농도의 경화성 유기실록산 조성물; 및

은 입자, 은-코팅된 코어 입자 및 탄소 나노튜브의 배합물로 본질적으로 이루어진 전기 전도성 충전제로서, 전부 상기 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로, 은의 총 농도는 50 중량% 이상 60 중량% 미만이며 탄소 나노튜브는 0 중량% 초과 내지 5.0 중량%의 농도로 존재하는, 상기 전기 전도성 충전제

의 블렌드(blend)를 포함하며;

상기 경화성 실리콘 조성물의 모든 성분들의 총 농도는 100.0 중량%이고;

상기 경화성 실리콘 조성물은 TI 시험 방법에 따라 측정된 요변 지수(n_1/n_{10})가 3 이상인 것을 특징으로 하며;

상기 경화성 실리콘 조성물은 체적 저항률 시험 방법에 따라 측정된 체적 저항률이 0.0010 옴-센티미터 미만인 것을 특징으로 하는, 경화성 실리콘 조성물.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 경화성 실리콘 조성물은 하기 제한들을 갖는 것을 특징으로 하는, 경화성 실리콘 조성물:

상기 탄화수소 비히클은 150℃ 초과와 초기 비점(initial boiling point) 및 300℃ 미만의 최종 비점(end boiling point)을 가지며, 상기 탄화수소 비히클은 상기 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 5 내지 15 중량%의 농도로 존재하고;

상기 경화성 유기실록산 조성물은 하나 이상의 다이오르가노실록산 화합물, 촉매, 및 접착 촉진제를 포함하며; 상기 하나 이상의 다이오르가노실록산 화합물은 분자당 평균 1개 이상의 반응성 모이어티(moiety)를 갖고, 각각의 반응성 모이어티는 독립적으로 알케닐 모이어티, Si-H 모이어티, Si-OH 모이어티, 또는 Si-OR 모이어티이며, 여기서, R은 (C₁-C₁₀)하이드로카르빌, -C(O)(C₁-C₁₀)하이드로카르빌, 또는 -N=CR¹R²이고, R¹ 및 R²의 각각은 독립적으로 (C₁-C₁₀)하이드로카르빌이거나 또는 R¹ 및 R²는 함께 (C₂-C₁₀)하이드로카르빌렌을 형성하며; 상기 하나 이상의 다이오르가노실록산 화합물은 상기 경화성 유기실록산 조성물의 50 중량% 이상이고;

전부 상기 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로, 은 입자의 농도는 42 내지 55 중량%이며, 은-코팅된 코어 입자의 농도는 15 내지 25 중량%이고, 은의 총 농도는 50.5 내지 59.4 중량%이며;

상기 은-코팅된 코어 입자 중 은의 농도는 상기 은-코팅된 코어 입자의 중량을 기준으로 2 내지 58 중량%이고;

탄소 나노튜브의 농도는 상기 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 0.1 내지 2.9 중량%이며;

상기 경화성 실리콘 조성물은 TI 시험 방법에 따라 측정된 요변 지수(n_1/n_{10})가 3 내지 10인 것을 특징으로 하고;

상기 경화성 실리콘 조성물은 체적 저항률 시험 방법에 따라 측정된 체적 저항률이 0.0010 옴-센티미터 미만인 것을 특징으로 함.

청구항 4

제2항에 있어서, 상기 경화성 실리콘 조성물은 하기 제한들을 갖는 것을 특징으로 하는, 경화성 실리콘 조성물:
상기 탄화수소 비히클은 알칸 혼합물이며;

상기 경화성 유기실록산 조성물은 하나 이상의 디오르가노실록산 화합물, 하나 이상의 유기하이드로젠실리콘 (organohydrogensilicon) 화합물, 하이드로실릴화 촉매, 및 에폭시-작용성 접착 촉진제를 포함하고; 상기 하나 이상의 디오르가노실록산 화합물은 분자당 평균 1개 이상의 알케닐 모이어티를 가지며, 상기 유기하이드로젠 실리콘 화합물은 분자당 평균 1개 이상의 Si-H 모이어티를 갖고; 상기 하나 이상의 디오르가노실록산 화합물은 상기 경화성 유기실록산 조성물의 60 내지 80 중량%이며;

전부 상기 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로, 은 입자의 농도는 45 내지 55 중량%이고, 은-코팅된 코어 입자의 농도는 16 내지 22 중량%이며, 은의 총 농도는 50.7 내지 59.4 중량%이고;

상기 은-코팅된 코어 입자 중 은의 농도는 상기 은-코팅된 코어 입자의 중량을 기준으로 10 내지 45 중량%이고;

상기 탄소 나노튜브는 단일벽 탄소 나노튜브, 다중벽 탄소 나노튜브, 유도된(derivatized) 탄소 나노튜브, 또는 단일벽 탄소 나노튜브, 다중벽 탄소 나노튜브 및 유도된 탄소 나노튜브 중 임의의 2가지 이상의 조합이며; 탄소 나노튜브의 농도는 상기 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 0.4 내지 2.5 중량%이고;

상기 경화성 실리콘 조성물은 체적 저항률 시험 방법에 따라 측정된 체적 저항률이 0.00090 옴-센티미터 미만인 것을 특징으로 함.

청구항 5

◆청구항 5은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.◆

제4항에 있어서, 상기 경화성 실리콘 조성물은 하기 제한들을 갖는 것을 특징으로 하는, 경화성 실리콘 조성물:
상기 알칸 혼합물은 (C₉-C₁₂)아이소알칸 중 2가지 이상, (C₁₂-C₁₆)아이소알칸 중 2가지 이상, 또는 (C₁₆-C₂₂)아이소알칸 중 2가지 이상을 포함하는 아이소알칸 혼합물이며, 상기 탄화수소 비히클은 상기 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 5 내지 14 중량%의 농도로 존재하고;

상기 경화성 유기실록산 조성물은 하이드로실릴화 경화성이며 하나 이상의 디오르가노실록산 화합물, 하나 이상의 트라이메틸실록시-말단화된(terminated) 다이메틸 유기하이드로젠실리콘 화합물, 미세캡슐화된(microencapsulated) 하이드로실릴화 촉매, 및 비스(알파,오메가-글리시독시알킬)-다이알킬/(알킬,알케닐)실록산 접착 촉진제를 포함하고; 상기 디오르가노실록산의 상기 알케닐은 비닐이며, 상기 하나 이상의 디오르가노실록산 화합물은 분자당 평균 1.1개 이상의 비닐 모이어티를 갖고, 상기 하나 이상의 트라이메틸실록시-말단화된 다이메틸 유기하이드로젠실리콘 화합물은 분자당 평균 1.1개 이상의 Si-H 모이어티를 갖거나, 또는 상기 하나 이상의 디오르가노실록산 화합물은 분자당 평균 1.1개 이상의 비닐 모이어티를 가지며, 상기 하나 이상의 유기하이드로젠실리콘 화합물은 분자당 평균 1.1개 이상의 Si-H 모이어티를 갖고; 비닐 모이어티를 갖는 상기 하나 이상의 디오르가노실록산 화합물은 상기 경화성 유기실록산 조성물의 70 내지 78 중량%이며; 상기 하나 이상의 유기하이드로젠실리콘 화합물은 상기 경화성 유기실록산 조성물의 1 내지 5 중량%이고, 상기 미세캡슐화된 하이드로실릴화 촉매는 상기 경화성 유기실록산 조성물의 10 내지 15 중량%이며, 상기 비스(알파,오메가-글리시독시알킬)-다이알킬/(알킬,알케닐)실록산 접착 촉진제는 상기 경화성 유기실록산 조성물의 0.1 내지 10 중량%이고, 상기 유기하이드로젠실리콘 화합물, 상기 미세캡슐화된 하이드로실릴화 촉매 및 상기 비스(알파,오메가-글리시독시알킬)-다이알킬/(알킬,알케닐)실록산 접착 촉진제는 함께 상기 경화성 유기실록산 조성물의 20 내지 30 중량%이며;

전부 상기 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로, 은 입자의 농도는 48 내지 52 중량%이고, 은-코팅된 코어 입자의 농도는 16 내지 20 중량%이며, 은의 총 농도는 54 내지 59.0 중량%이고;

상기 은-코팅된 코어 입자 중 은의 농도는 상기 은-코팅된 코어 입자의 중량을 기준으로 12 내지 43 중량%이며;

상기 은-코팅된 코어 입자의 코어는 알루미늄; 실리카 유리; 카본; 세라믹; 구리; 철; 리튬; 몰리브덴; 니켈;

유기 중합체; 팔라듐; 백금; 실리카; 주석; 텅스텐; 아연; 또는 알루미늄, 구리, 철, 리튬, 몰리브덴, 니켈, 팔라듐, 백금, 주석, 텅스텐, 및 아연 중 임의의 2가지 이상의 금속 합금이거나; 또는 알루미늄; 실리카 유리; 카본; 세라믹; 구리; 철; 리튬; 몰리브덴; 니켈; 유기 중합체; 팔라듐; 백금; 실리카; 주석; 텅스텐; 아연; 및 알루미늄, 구리, 철, 리튬, 몰리브덴, 니켈, 팔라듐, 백금, 주석, 텅스텐, 및 아연 중 임의의 2가지 이상의 금속 합금 중 임의의 2가지 이상의 물리적 블렌드이고;

상기 탄소 나노튜브의 농도는 상기 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 0.6 내지 2.3 중량%이며;

상기 경화성 실리콘 조성물은 체적 저항률 시험 방법에 따라 측정된 체적 저항률이 0.00080 옴-센티미터 미만인 것을 특징으로 함.

청구항 6

경화성 실리콘 조성물로서, 상기 경화성 실리콘 조성물은 하기 성분들:

탄화수소 비히클인 아이소알칸 혼합물로서, (C₁₂-C₁₆)아이소알칸 중 3가지 이상을 포함하고, 210°C 초과와 초기 비점 및 270°C 미만의 최종 비점을 가지며, 상기 탄화수소 비히클은 상기 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 6 내지 11 중량%의 농도로 존재하는, 상기 아이소알칸 혼합물;

분자당 평균 1개 이상의 비닐 모이어티를 갖는 하나 이상의 비닐-작용성 폴리다이메틸실록산 화합물, 분자당 평균 1.1개 이상의 Si-H 모이어티를 갖는 하나 이상의 트라이메틸실록시-말단화된 다이메틸 메틸하이드로젠실리콘 (methylhydrogensilicon) 화합물, 미세캡슐화된 백금 하이드로실릴화 촉매, 비스(알파,오메가-글리시독시알킬-D3 내지 D6 알킬, 하이드로젠사이클로실록산), 및 비스(알파,오메가-글리시독시알킬)-다이알킬/(알킬,알케닐)실록산 접착 촉진제를 포함하는 하이드로실릴화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물로서, 상기 비닐-작용성 폴리다이메틸실록산 화합물은 상기 하이드로실릴화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물의 70 내지 78 중량%이며, 상기 트라이메틸실록시-말단화된 다이메틸 메틸하이드로젠실리콘 화합물은 상기 하이드로실릴화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물의 1 내지 5 중량%이고, 상기 미세캡슐화된 하이드로실릴화 촉매는 상기 하이드로실릴화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물의 10 내지 15 중량%이며, 상기 비스(알파,오메가-글리시독시알킬-D3 내지 D6 알킬, 하이드로젠사이클로실록산)은 상기 하이드로실릴화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물의 0 내지 7 중량%이고, 상기 비스(알파,오메가-글리시독시알킬)-다이알킬/(알킬,알케닐)실록산 접착 촉진제는 상기 하이드로실릴화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물의 1 내지 10 중량%이며; 상기 트라이메틸실록시-말단화된 다이메틸 메틸하이드로젠실리콘 화합물, 상기 미세캡슐화된 하이드로실릴화 촉매, 상기 비스(알파,오메가-글리시독시알킬-D3 내지 D6 알킬, 하이드로젠사이클로실록산), 및 상기 비스(알파,오메가-글리시독시알킬)-다이알킬/(알킬,알케닐)실록산 접착 촉진제는 함께 상기 하이드로실릴화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물의 20 내지 30 중량%인, 상기 하이드로실릴화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물; 및

은 입자, 은-코팅된 니켈 입자 및 다중벽 탄소 나노튜브의 배합물로 본질적으로 이루어진 전기 전도성 충전제로서, 상기 은 입자는 은 플레이크(flake)이며, 전부 상기 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로, 은 플레이크의 농도는 40 내지 51 중량%이고, 은-코팅된 니켈 입자의 농도는 17 내지 32 중량%이며, 은의 총 농도는 54.0 내지 59.0 중량%이고; 상기 은-코팅된 니켈 입자 중 은의 농도는 상기 은-코팅된 니켈 입자의 중량을 기준으로 28 내지 42 중량%이며; 상기 다중벽 탄소 나노튜브는 상기 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 0.3 내지 2.2 중량%의 농도로 존재하는, 상기 전기 전도성 충전제

의 블렌드를 포함하고;

상기 경화성 실리콘 조성물은 TI 시험 방법에 따라 측정된 요변 지수(n_{11}/n_{10})가 3 내지 7인 것을 특징으로 하며;

상기 경화성 실리콘 조성물은 체적 저항률 시험 방법에 따라 측정된 체적 저항률이 0.00070 옴-센티미터 미만인 것을 특징으로 하는, 경화성 실리콘 조성물.

청구항 7

◆청구항 7은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.◆

제1항에 있어서, 전기 비-전도성 입자를 추가로 포함하는, 경화성 실리콘 조성물.

청구항 8

◆청구항 8은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.◆

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 경화성 실리콘 조성물에는 은 입자, 은-코팅된 코어 입자 및 탄소 나노튜브 이외의 전기 전도성 충전제가 결여된, 경화성 실리콘 조성물.

청구항 9

제1항의 경화성 실리콘 조성물의 경화 생성물인 전기 전도성 실리콘 접착제로서, 상기 전기 전도성 실리콘 접착제는 체적 저항률 시험 방법에 따라 측정된 체적 저항률이 0.0010 옴-센티미터 미만인 것을 특징으로 하는, 전기 전도성 실리콘 접착제.

청구항 10

◆청구항 10은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.◆

제9항에 있어서, 박리 내성 시험 방법에 따라 실리카 유리 기재에서 측정할 때의 접착 강도가 0.3 뉴턴 이상인 것을 특징으로 하는, 전기 전도성 실리콘 접착제.

청구항 11

대향하는 표면들을 갖는 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소와, 상기 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소의 상기 대향 표면들 사이에서 상기 대향 표면들과 접촉식 작동 접촉 상태로 배치된 제9항의 전기 전도성 실리콘 접착제를 포함하는 전기 디바이스로서, 상기 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소는 상기 전기 전도성 실리콘 접착제를 통하여 서로 전기적 작동 통신되도록 배치되며, 상기 전기 전도성 실리콘 접착제는 체적 저항률 시험 방법에 따라 측정된 체적 저항률이 0.0010 옴-센티미터 미만인 것을 특징으로 하는, 전기 디바이스.

청구항 12

표면들을 갖는 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소와 전기 전도성 실리콘 접착제를 포함하는 전기 디바이스의 제조 방법으로서, 상기 방법은 제1항의 상기 경화성 실리콘 조성물을 상기 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소의 일면 또는 양면 상에 침착시키는 단계와, 상기 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소를 상기 구성요소들의 표면들이 서로에 대향하여 상기 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소의 상기 대향 표면들 사이에서 상기 대향 표면들과 물리적 접촉 상태로 배치된 상기 경화성 실리콘 조성물을 포함하는 예비 조립체 (preassembly)를 제공하도록 배향시키는 단계와; 상기 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소의 상기 대향 표면들 사이의 상기 경화성 실리콘 조성물을 경화시켜 상기 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소와, 상기 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소의 상기 대향 표면들 사이에서 상기 대향 표면들과 접촉식 작동 접촉 상태로 배치된 전기 전도성 실리콘 접착제를 포함하는 전기 디바이스를 제공하여서 상기 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소가 상기 전기 전도성 실리콘 접착제를 통하여 서로 전기적 작동 통신되도록 배치되게 하는 단계를 포함하고, 상기 전기 전도성 실리콘 접착제는 체적 저항률 시험 방법에 따라 측정된 체적 저항률이 0.0010 옴-센티미터 미만인 것을 특징으로 하는, 전기 디바이스 제조 방법.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 방법은 기재된 바와 같이 그리고 상이한 침착 또는 경화 조건들 하에서 제1 전기 디바이스 및 제2 전기 디바이스를 제조하는 단계를 포함하며; 상기 제1 전기 디바이스의 제조 방법은 제1 침착 조건 및 제1 경화 조건을 이용하고, 유동학적 조정 및/또는 전기 전도성 조정 전에 경화성 실리콘 조성물을 이용하며; 상기 제2 전기 디바이스의 제조 방법은 제2 침착 조건 및 제2 경화 조건을 이용하고, 상기 제2 침착 및/또는 경화 조건 하에서의 사용을 위해 유동학적 조정, 전기 전도성 조정, 또는 유동학적 조정 및 전기 전도성 조정 후에 상기 경화성 실리콘 조성물을 이용하며;

상기 제1 침착 조건은 상기 제2 침착 조건과 상이하고, 또는

상기 제1 경화 조건은 상기 제2 경화 조건과 동일하거나 상이하고, 또는

상기 제1 침착 조건은 상기 제2 침착 조건과 상이하고 상기 제1 경화 조건은 상기 제2 경화 조건과 동일하거나 상이하하며;

각각의 전기 전도성 실리콘 접착제는 체적 저항률 시험 방법에 따라 측정된 체적 저항률이 0.0010 옴-센티미터 미만인 것을 특징으로 하는, 전기 디바이스 제조 방법.

청구항 14

◆청구항 14은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.◆

제13항에 있어서, 상기 유동학적 특성(rheology)을, 상기 유동학적 특성 조정 전 및 상기 조정 후의 요변 지수 (n_1/n_{10}) 값이 각각 3 내지 10이고 0.3 이상만큼 서로 상이해지도록 전기 전도성 코어의 총 농도를 증가시키지 않고서 조정하는, 전기 디바이스 제조 방법.

청구항 15

제13항에 있어서, 제1 경화성 실리콘 조성물의 제1 배치(batch)의 침착 및/또는 경화를 제1 제조 조건 하에서 행하고, 제2 경화성 실리콘 조성물의 침착 및/또는 경화를 제2 제조 조건 하에서 행하며, 상기 제1 제조 조건 및 제2 제조 조건은 상기 제1 경화성 실리콘 조성물 및 제2 경화성 실리콘 조성물의 온도, 상기 제1 경화성 실리콘 조성물 및 제2 경화성 실리콘 조성물의 유량, 상기 제1 경화성 실리콘 조성물 및 제2 경화성 실리콘 조성물의 경화 시간, 상기 각각의 제1 경화성 실리콘 조성물 및 제2 경화성 실리콘 조성물과 접촉 상태로 있을 때의 제1 기재 및 제2 기재의 배향(orientation), 및 상기 제1 기재 및 제2 기재의 표면들의 화학 조성 또는 구조 중 하나 이상이 서로 상이한, 전기 디바이스 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 명세서에 개시된 발명은 경화성 실리콘 조성물, 전기 전도성 실리콘 접착제, 이 조성물 및 접착제의 제조 및 사용 방법, 및 이 조성물 및 접착제를 포함하는 전기 디바이스(device)를 포함한다.
- [0002] 전기 디바이스의 전기적 상호접속 구성요소들에 대한 하나의 접근법은 전기 전도성 접착제(electrically conductive adhesive; ECA)를 사용하는 것이다. ECA는 상기 구성요소들을 함께 접합시키며, 전기 디바이스의 작동 동안 ECA를 통하여 상기 구성요소들 사이의 전류의 이동을 조장한다. 매우 다양한 전기 구성요소들에서 ECA가 이용될 수 있다.
- [0003] 일반적으로, ECA는 퍼콜레이션 한계치(percolation threshold) 초과로 비-전도성 결합제 매트릭스(binder matrix)에 분산된 전기 전도성 금속 입자들을 포함한다. 퍼콜레이션 한계치는 ECA를 통한 전류의 전도에 필요한 ECA 중 금속 입자들의 최소 농도이다. 퍼콜레이션 한계치 바로 아래에서 특유한 전류 컷오프(cutoff)가 도달된다. 상기 컷오프는 결합제 매트릭스를 통하여 전류의 연속 경로를 더 이상 형성하지 않는 금속 입자의 농도이다. 예를 들어, 은-기재의 경화성 실리콘 전구체 조성물은 전형적으로 만족스러운 전기 성능을 위하여 최소 70 중량%(wt%)의 은을 갖는다. 과거에, 고가인 은의 농도를 상기 최소치 미만으로 감소시키면 체적 저항률 증가가 만족스럽지 않게 되었다. 따라서, 실제 체형을 기반으로 하여, 실리콘 결합제 매트릭스에 있어서 0.001 옴-센티미터 미만의 체적 저항률을 생성하기 위한 은의 퍼콜레이션 한계치, 즉 은의 최소 농도는 약 70 중량%인 것으로 예상될 수 있었다.
- [0004] 게다가, ECA는 그의 응용과 양립가능한 체적 저항률을 가져야 한다. 체적 저항률 (ρ)은 재료를 통한 전류의 흐름에 대해 재료가 얼마나 강하게 대항하는지를 정량화한다.
- [0005] 전형적인 ECA는 경화성 결합제 재료 중에 널리 분산된 금속 입자들을 포함하는 경화성 전구체 조성물을 경화시킴으로써 제조된다. 매우 다양한 경화성 결합제 재료 및 다른 성분들이 상이한 경화성 전구체 및 ECA 조성물의 제조에 사용되어 왔다. 그러한 조성물은 상이한 화학적 특성, 전기적 특성, 자기적 특성, 제조 특성, 기계적 특성, 광학적 특성, 물리적 특성, 복구가능 특성 및/또는 열적 특성을 갖는다. 예를 들어, 상이한 유형의 금속 입자들 및/또는 결합제 매트릭스 재료를 함유하는 ECA 조성물은 서로 상이한 퍼콜레이션 한계치 및 서로 상이한 체적 저항률을 가질 것이다. 기타 조성물 특성들이 또한 상이할 것이다. 경화성 전구체 조성물을 증점시키는데 사용되는 성분은 생성된 ECA에서의 체적 저항률을 증가시키는 경향이 있다.
- [0006] 당업자는 상이한 경화성 전구체 조성물 및 ECA를 제조하여 왔다. 경화성 전구체 조성물 및 ECA의 예가 알. 엘. 콜(R. L. Cole) 등의 미국 특허 제5,075,038호; 알. 엘. 콜 등의 미국 특허 제5,227,093호; 에스. 미야자키(S. Miyazaki)의 일본 특허 제2004-027134 A호; 에이. 이나바(A. Inaba)의 미국 특허 제8,044,330 B2호; 및 클라인

예거(Kleine Jäger) 등의 국제특허 공개 WO 2011/101788 A1호에 언급되어 있다.

[0007] 우리 (본 발명자)는 종래 기술의 경화성 전구체 조성물 및 생성된 ECA에서 문제점을 발견하였다. 예를 들어, 종래 기술에서는 생성된 ECA의 체적 저항률을 0.001 옴-센티미터 미만으로 유지할 수 있는 한편, 전기 디바이스의 제조를 위한 상이한 응용 조건들에 맞추어지도록 넓은 범위에 걸쳐 유동학적 특성(rheology)이 조정될 수 있는 경화성 전구체 조성물을 성취하는 방법이 교시되어 있지 않으며, 여기서 상기 유동학적 특성 조정은 조성물 중 금속 입자들의 총 농도를 상대적으로 낮은 최대 농도보다 높게 증가시키지 않고서도 이루어진다. 그러한 조정가능한 조성물은 디바이스 사용자가 필요로 하는 ECA의 전기적 특성을 유지하면서 전기 디바이스 제조업자의 동일하거나 또는 상이한 필요성을 충족시키는 상이한 경화성 전구체 제형들의 개발에 유용할 것이다.

[0008] 대안적으로 또는 부가적으로, 본 발명자는 일부 종래 기술의 ECA가 불량한 가요성을 가짐을 알아냈다. 가요성 ECA는 저 응력 상호접속을 요구하는 응용에서 유익하며, 넓은 온도 변동에 노출되는 전자 디바이스의 내구성을 향상시킨다. 본 발명자는 디바이스 사용자가 필요로 하는 ECA의 전기적 특성을 유지하면서 제조 회사의 필요성을 충족시키는, 조정가능한 유동학적 특성을 갖는 가요성의 경화성 전구체 제형을 개발하는 것이 바람직함을 인식하였다.

[0009] 진술한 유동학적 특성 및/또는 내구성에 대한 문제점을 해결하기 위한 본 발명자의 노력에 의해, 본 발명자는 진술한 기술에 의해 교시되지 않거나, 제안되지 않거나 또는 개시되지 않은 것으로 본 발명자가 믿고 있는, 진술한 문제점들의 하나 이상의 기술적 해결책 및 개선된 경화성 실리콘 조성물 및 실리콘 ECA를 얻었다. 본 발명자는, 전체로서 단지 종래 기술의 지식에 의해 진술한 기술적 문제점을 해결하려는 시도가 진보적 단계 또는 자명하지 않은 단계 없이는 본 발명으로 이어지지 않을 것으로 믿는다.

발명의 내용

[0010] 본 발명은 경화성 실리콘 조성물, 전기 전도성 실리콘 접착제, 이 조성물 및 접착제의 제조 및 사용 방법, 및 이 조성물 및 접착제를 포함하는 전기 디바이스를 포함한다. 실시 형태는 하기를 포함한다:

[0011] 경화성 유기실록산 조성물, 은, 및 은 이외의 하나 이상의 전기 전도성 금속을 함유하는 경화성 실리콘 조성물로서, 상기 경화성 실리콘 조성물 중 전기 전도성 금속의 총 농도를 72 중량% 이상으로 증가시키지 않고서도 체적 저항률 시험 방법에 따라 측정된 체적 저항률이 0.001 옴-센티미터 미만인 전기 전도성 실리콘 접착제로 경화될 수 있는 상태로 유지되면서, 전체 은 농도가 50 내지 60 중량% 미만이고, TI 시험 방법에 따라 측정된 요변 지수(thixotropic index)가 3 내지 10으로 조정가능한 것을 특징으로 하는, 경화성 실리콘 조성물.

[0012] 경화성 실리콘 조성물의 경화 생성물이고, 체적 저항률 시험 방법에 따라 측정된 체적 저항률이 0.0010 옴-센티미터 미만인 것을 특징으로 하는, 전기 전도성 실리콘 접착제 조성물.

[0013] 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소와 전기 전도성 실리콘 접착제를 포함하는, 전기 디바이스.

[0014] 전기 디바이스의 제조 방법.

[0015] 본 발명은 전기 구성요소, 최종-사용자 디바이스, 및 이들의 제조 방법에 이용될 수 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 개요 및 요약은 본 명세서에 참고로 포함된다. 본 발명은 경화성 전구체 조성물, 전기 전도성 실리콘 접착제(ECSA), 전기 디바이스, 및 전기 디바이스의 제조 방법을 제공한다.

[0017] "~ 일 수 있다"(may)는 필수(imperative)가 아니라 선택(choice)을 의미한다. "선택적으로"는 '부재하는'(is absent), 대안적으로, '존재하는'(is present)을 의미한다. "접촉"은 예를 들어 반응을 조장하는 것에 관하여 효과적인 닿음(touching)을 포함한다. 접촉은 직접적 닿음일 수 있다. 본 명세서에서 원소의 족(들) 또는 원소 주기율표의 임의의 언급은 국제 순수·응용 화학 연합(International Union of Pure and Applied Chemistry; IUPAC)에 의해 반포된 원소 주기율표의 2011년판의 것을 의미한다. 특정한 진술 또는 문맥 (예를 들어, 금속 염 또는 킬레이트)에 의해 달리 지시되지 않으면, 본 명세서에서 금속, 금속 합금, 또는 금속 블렌드(blend)에 대한 임의의 언급은 관련 원소(들)의 금속 (비이온성, 형식적 산화 상태: 0) 형태를 말한다. 모든 "wt%" (중량%)는, 달리 나타내지 않으면, 사용되는 성분의 총 중량을 기준으로 한다. 각각의 조성물, 혼합물, 또는 다른 재료의 성분들은 합계가 100 중량%가 된다. 소정의 종류(genus) 및 그 안의 하위종류(subgenus)를 포함하는 임의의 마쿠쉬 군(Markush group)은 그 종류 내의 하위종류를 포함하며, 예를 들어 "R은 하이드로카르빌 또는 알

케닐이다"라는 마쿠쉬 군에서, R은 알케닐일 수 있으며, 대안적으로 R은 하이드로카르빌일 수 있는데, 이는 다른 하위종류 중에서, 알케닐을 포함한다.

[0018] 본 명세서에 사용되는 바와 같이, 체적 저항률 (ρ) 및 전기 전도도 (K)는 벌크(bulk) 체적 저항률 및 벌크 전기 전도도를 말한다. 체적 저항률 값 및 전기 전도도 값이 우연히 상충될 경우, 체적 저항률 값이 좌우한다.

[0019] "전기 전도성 금속"은 원소 주기율표의 1족 내지 13족 중 어느 하나의 원소 + 14족의 주석 및 납, 15족의 안티몬, 및 란타늄 및 악티늄족, 또는 임의의 2가지 이상의 그러한 원소들의 금속 합금을 의미한다. 상기 원소 또는 금속 합금은 20℃에서 체적 저항률 (ρ)이 0.0001 옴-센티미터 미만이고, 20℃에서 전기 전도도 (K)가 1×10^6 지멘스/미터(S/m) 초과일 수 있다. 그러한 원소의 예로는 은, 구리, 금, 알루미늄, 칼슘, 몰리브덴, 아연, 리튬, 텅스텐, 니켈, 철, 팔라듐, 백금, 주석, 납, 티타늄, 수은 및 이들의 블렌드가 있다. 그러한 금속 합금의 예로는 황동 (구리와 아연의 금속 합금), 청동 (구리와 주석의 금속 합금), 67Cu33Zn, 탄소강, 방향성 전기 강판(grain oriented electrical steel), 망가닌(MANGANIN) (독일 달렌부르크 소재의 이사벨렌휘테 헤우스레르 게엠베하 운트 코. 카게(Isabellenhütte Heusler GmbH & Co. KG)에 의한, 화학식 $Cu_{86}Mn_{12}Ni_2$ 의 금속 합금의 상표명), 콘스탄틴 (55% 구리와 45% 니켈의 금속 합금), 니크롬 (니켈, 크롬 및 선택적으로 철의 금속 합금), 및 이들의 블렌드가 있다. 경화성 실리콘 조성물 중 전기 전도성 금속의 총 농도는 72 중량% (wt%) 미만, 대안적으로 71 중량% 이하, 대안적으로 70 중량% 이하이며, 이들 전부는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 한다. 경화성 실리콘 조성물 중 전기 전도성 금속의 총 농도는 60 중량% 초과, 대안적으로 65 중량% 초과, 대안적으로 66 중량% 초과, 대안적으로 67 중량% 초과, 대안적으로 68 중량% 이상, 예를 들어 68.0 내지 71.0 중량%일 수 있으며, 이들 전부는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 한다.

[0020] "전기 전도성 금속 충전제"는 미분화된 형태의 전기 전도성 금속을 의미한다. 전기 전도성 금속 충전제는 분산성일 수 있으며, 경화성 유기실록산 조성물 중 콜로이드성 현탁액, ECSA, 또는 이들 둘 모두를 형성할 수 있다.

[0021] 경화성 실리콘 조성물은 경화성 유기실록산 조성물, 은, 및 은 이외의 하나 이상의 전기 전도성 금속을 함유한다. 예를 들어, 경화성 실리콘 조성물은 하기 성분들, 즉 탄화수소 비히클(vehicle); 경화성 유기실록산 조성물; 및 은 입자, 은-코팅된 코어 입자 및 탄소 나노튜브의 배합물로 본질적으로 이루어진 전기 전도성 충전제의 블렌드를 포함할 수 있으며; 모든 성분들의 총 농도는 상기 경화성 실리콘 조성물의 100.0 중량%이다. 요변 지수의 조정은, 전체 은 농도를 50 내지 60 중량% 미만의 범위 (예를 들어, 49.5 내지 59.4 중량%)로 유지하고 전기 전도성 금속의 전체 농도를 72 중량% 미만으로 유지하면서 상기 성분들 중 하나의 농도 또는 상기 성분들 중 2가지의 양들의 비를 변화시킴으로써 달성될 수 있다. 은 이외의 전기 전도성 금속은 구리, 금, 알루미늄, 칼슘, 몰리브덴, 아연, 리튬, 텅스텐, 니켈, 철, 팔라듐, 백금, 주석, 납, 티타늄 및 수은 중 어느 하나의 금속; 또는 황동, 청동, 67Cu33Zn, 탄소강, 방향성 전기 강판, 망가닌, 콘스탄틴 및 니크롬 중 어느 하나의 금속 합금; 또는 구리, 금, 알루미늄, 칼슘, 몰리브덴, 아연, 리튬, 텅스텐, 니켈, 철, 팔라듐, 백금, 주석, 납, 티타늄, 수은, 황동, 청동, 67Cu33Zn, 탄소강, 방향성 전기 강판, 망가닌, 콘스탄틴 및 니크롬 중 임의의 2가지 이상의 물리적 블렌드일 수 있다. 대안적으로, 은 이외의 전기 전도성 금속은 은 이외의 전기 전도성 금속이 알루미늄, 칼슘, 몰리브덴, 아연, 리튬, 텅스텐, 니켈, 철, 팔라듐, 백금, 주석, 납, 티타늄 및 수은 중 어느 하나의 금속; 또는 탄소강, 방향성 전기 강판 및 니크롬 중 어느 하나의 금속 합금; 또는 알루미늄, 칼슘, 몰리브덴, 아연, 리튬, 텅스텐, 니켈, 철, 팔라듐, 백금, 주석, 납, 티타늄, 수은, 탄소강, 방향성 전기 강판 및 니크롬 중 임의의 2가지 이상의 물리적 블렌드일 수 있도록 구리 및 금이 결합될 수 있다. 대안적으로, 전기 전도성 금속은 은 이외의 전기 전도성 금속이 칼슘, 몰리브덴, 아연, 리튬, 텅스텐, 니켈, 철, 팔라듐, 백금, 주석, 납, 티타늄 및 수은 중 어느 하나의 금속; 또는 탄소강, 방향성 전기 강판 및 니크롬 중 어느 하나의 금속 합금; 또는 칼슘, 몰리브덴, 아연, 리튬, 텅스텐, 니켈, 철, 팔라듐, 백금, 주석, 납, 티타늄, 수은, 탄소강, 방향성 전기 강판 및 니크롬 중 임의의 2가지 이상의 물리적 블렌드일 수 있도록 구리, 금 및 알루미늄이 결합될 수 있다. 예를 들어, 은 이외의 전기 전도성 금속은 아연, 텅스텐, 니켈, 철, 주석, 납 및 티타늄, 대안적으로 아연, 대안적으로 텅스텐, 대안적으로 니켈, 대안적으로 철, 대안적으로 주석, 대안적으로 납, 대안적으로 티타늄 중 어느 하나의 금속일 수 있다.

[0022] 일부 실시 형태에서, 경화성 실리콘 조성물은 하기 성분들, 즉 100 내지 360℃의 비점을 특징으로 하는, 상기 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 4.0 내지 20 중량%의 농도의 탄화수소 비히클; 상기 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 10 내지 40 중량%의 농도의 경화성 유기실록산 조성물; 및 은 입자, 은-코팅된 코어 입자 및 탄소 나노튜브의 배합물로 본질적으로 이루어진 전기 전도성 충전제로서, 전부 상기 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로, 은의 총 농도는 50 내지 60 중량% 미만이며 탄소 나노튜브는 0 초과 내지 5.0 중량%의

농도로 존재하는, 상기 전기 전도성 충전제의 블렌드를 포함하는 경화성 실리콘 조성물이며; 여기서, 상기 경화성 실리콘 조성물의 모든 성분들의 총 농도는 100.0 중량%이고; 상기 경화성 실리콘 조성물은 이후에 설명되는 TI 시험 방법에 따라 측정된 요변 지수 (n_{11}/n_{10})가 3 이상인 것을 특징으로 하며; 상기 경화성 실리콘 조성물은 체적 저항률 시험 방법에 따라 측정된 체적 저항률이 0.0010 옴-센티미터 미만인 것을 특징으로 한다.

[0023] 탄화수소 비히클은 각각의 분자가 탄소 및 수소 원자로 이루어진 분자들의 액체 콜렉션(collection)으로서, 이는 각각 하나 이상의 동위 원소 형태의 탄소 및 수소 원자를 포함한다. 각각의 분자는 탄소-탄소 결합을 가지며, 여기서, 각각의 탄소-탄소 결합은 독립적으로 단일, 이중, 삼중 또는 방향족 결합이다. 각각의 분자는 독립적으로, 포화 탄화수소, 불포화 탄화수소, 방향족 탄화수소, 또는 이들의 임의의 2가지 또는 3가지의 조합일 수 있다. 각각의 분자는 독립적으로 비환형 또는 환형일 수 있거나, 또는 비환형 부분과 환형 부분의 조합일 수 있다. 각각의 비환형 분자 또는 부분은 독립적으로 분지형 또는 비분지형일 수 있다. 각각의 환형 분자 또는 부분은 독립적으로 방향족 또는 비-방향족일 수 있다. 부가적으로, 각각의 환형 분자 또는 부분은 독립적으로 단환식, 또는 이환식 또는 삼환식을 포함하는 다환식일 수 있다. 각각의 다환식 분자 또는 부분은 단순한 것 (원자들을 공유하지 않는 별도 고리들) 또는 복합적인 것 (하나 이상의 원자를 공유하는 2개 이상의 고리를 가짐)일 수 있다. 복합 다환식 분자의 예로는 가교형, 스피로사이클릭, 및 융합 다환식이 있다. 다환식 분자의 각각의 고리는 독립적으로, 방향족 또는 비-방향족일 수 있다. 탄화수소 비히클은 하기 부류 중 임의의 하나 이상으로부터의 것일 수 있다: 알칸, 알켄, 알킨, 사이클로알칸, 사이클로알켄, 사이클로알킨, 및 방향족 탄화수소. 탄화수소 비히클은 동일하거나 또는 상이한 부류의 임의의 2가지 이상의 탄화수소의 혼합물일 수 있다. 동일한 부류의 탄화수소의 혼합물은 알칸의 혼합물, 예를 들어 비분지형 알칸 (노르말 알칸)의 혼합물, 또는 분지형 알칸의 혼합물 (예를 들어, 아이소알칸의 혼합물, 네오-알칸의 혼합물, 또는 3차-알칸의 혼합물)일 수 있다. 예를 들어, 아이소알칸의 혼합물은 (C₉-C₁₂)아이소알칸 중 2가지 이상, (C₁₂-C₁₆)아이소알칸 중 2가지 이상, 또는 (C₁₆-C₂₂)아이소알칸 중 2가지 이상을 포함할 수 있다. 상이한 부류들로부터의 탄화수소의 혼합물은 알칸과 방향족 탄화수소의 혼합물 또는 알칸과 알켄의 혼합물일 수 있다.

[0024] 또한 탄화수소 비히클은 100°C 이상, 대안적으로 100 내지 360°C의 비점을 특징으로 한다. 탄화수소 비히클의 특정 비점은, 이것이 100°C를 초과하지만 경화성 실리콘 조성물의 경화 동안 및/또는 그 후 탄화수소 비히클이 실질적으로 제거될 수 없을 정도로 그렇게 높은 것은 아닌 한, 결정적이지 않다. "실질적으로 제거되는"은 경화가 중단되거나 또는 완료된 후, 탄화수소 비히클의 출발 체적을 기준으로 50 체적% (vol%) 이상, 대안적으로 75 체적% 이상, 대안적으로 90 체적% 이상, 대안적으로 98 체적% 이상, 대안적으로 99 체적% 이상이 제거되는 제거율 및 ECSA가 5 중량% (wt%) 미만, 대안적으로 4 중량% 미만, 대안적으로 3 중량% 미만, 대안적으로 2 중량% 미만, 대안적으로 1 중량% 미만의 탄화수소 비히클을 갖도록 하는 양을 의미한다. 경화 후 ECSA 중에 잔존하는 탄화수소 비히클의 양은 (경화성 실리콘 조성물에 사용된 탄화수소 비히클의 중량) - 경화 동안 손실된 중량과 같을 수 있다. 경화 동안 손실된 중량은 경화 전 경화성 실리콘 조성물의 중량 - ECSA의 중량일 수 있다. 대안적으로, 열중량 분석(thermal gravimetric analysis; TGA)을 이용하여 가열시의 중량 변화를 측정할 수 있으며, 열분해 가스 크로마토그래프-질량 분광법을 이용하여 경화성 실리콘 조성물의 경화 동안 경화성 실리콘 조성물 또는 이로부터 제조된 ECSA를 떠난 물질을 정량적으로 분석할 (확인하고 정량화할) 수 있다. 탄화수소 비히클은 ECSA가 본 명세서에 기재된 그의 전기 제약, 접촉제 제약, 또는 이들 둘 모두를 충족시키는 것이 가능하지 않을 정도의 분해도로 ECSA를 분해시키지 않고서도 제거될 수 있다.

[0025] 부가적으로, 특정 비점 또는 비점 범위를 갖는 탄화수소 비히클의 실시 형태는 경화성 실리콘 조성물의 경화에 유익한 경화 조건을 맞추는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 상기 비점 또는 비점 범위의 온도 범위는, 경화 직전의 경화성 실리콘 조성물의 벌크 체적이 경화 후의 생성된 ECSA의 벌크 체적보다 더 커지도록, 경화 동안 벌크 체적의 물질의 수축을 유익하게 조장할 수 있다. 상기 수축은 유리하게는 상대적으로 느리고 일정한 속도의 것일 수 있어서, 경화성 실리콘 조성물 중 전기 전도성 충전제의 패킹(packaging)이 개선되며 (즉, 증가되며, 이는 더욱 조밀한 패킹을 제공함), 이는 비점이 100°C 미만, 특히 80°C 미만, 대안적으로 60°C 미만, 대안적으로 50°C 미만인 탄화수소 비히클을 갖는 비교용 ECSA에서 수득되는 것보다 더 느린 체적 저항률 및 더 높은 전기 전도도의 ECSA를 생성한다. 수축 속도를 조정하여 ECSA 중 전기 전도성 충전제의 패킹을 개선시킬 (즉, 증가시킬) 수 있다.

[0026] 대부분의 응용에 있어서, 360°C의 최대 비점 (즉, 최종 비점)이 탄화수소 비히클에 충분하다. 탄화수소 비히클이 상이한 비점들을 갖는 상이한 탄화수소 분자들의 혼합물일 때, 탄화수소 비히클은 최저 비등 분자의 초기 비점 및 최고 비등 분자의 최종 비점을 특징으로 할 수 있다. 예를 들어, 탄화수소 비히클은 150°C 초과와 초기

비점 및 300℃ 미만의 최종 비점; 대안적으로 210℃ 초과와 초기 비점 및 270℃ 미만의 최종 비점; 대안적으로 160℃ 초과와 초기 비점 및 205℃ 미만의 최종 비점; 대안적으로 210℃ 초과와 초기 비점 및 270℃ 미만의 최종 비점; 대안적으로 270℃ 초과와 초기 비점 및 355℃ 미만의 최종 비점을 가질 수 있다.

[0027] 탄화수소 비히클은 경화성 실리콘 조성물 중에 4.0 내지 20 중량%, 대안적으로 5 내지 20 중량%, 대안적으로 5 내지 15 중량%, 대안적으로 5 내지 14 중량%, 대안적으로 6 내지 11 중량%의 농도로 존재할 수 있으며, 이들 전부는 경화성 실리콘 조성물의 총 중량을 기준으로 한다. 너무 적은 중량%의 탄화수소 비히클은 생성된 ECSA의 체적 저항률이 0.0010 옴-cm 초과가 되게 할 수 있다.

[0028] "은 입자, 은-코팅된 코어 입자 및 탄소 나노튜브로 본질적으로 이루어진 전기 전도성 충전제"라는 어구는 경화성 실리콘 조성물 및 ECSA가 0.2 중량% 미만, 대안적으로 0.1 중량% 미만, 대안적으로 0.10 중량% 미만, 대안적으로 0.05 중량% 미만, 대안적으로 0.01 중량% 미만의, 은 입자, 은-코팅된 코어 입자 및 탄소 나노튜브의 배합물 이외의 전기 전도성 충전제를 가짐을 의미한다. 경화성 실리콘 조성물 및 ECSA는 상기 배합물 이외의 전기 전도성 충전제가 결여되거나 또는 부재할 수 있다 (즉, 0.00 중량%의 상기 배합물 이외의 전기 전도성 충전제를 함유할 수 있다). 전기 전도성 충전제의 중형비는 1:1 (대략적으로 구형) 내지 3,000:1의 범위일 수 있다.

[0029] "은 입자"는 원자 번호 47을 갖는 원소 (Ag)의 미분화된 고체 형태를 의미하며, 여기서, 은 입자 전체는 90 원자% (at%) 이상의 Ag, 대안적으로 95 원자% 초과와 Ag, 대안적으로 98 원자% 초과, 대안적으로 99.99 원자% 초과와 Ag를 갖는다. 경화성 실리콘 조성물 중 은 입자의 농도는 40 내지 58 중량% (예를 들어, 이후에 기재되는 태양 1의 실시 형태), 대안적으로 42 내지 55 중량%, 대안적으로 45 내지 55 중량%, 대안적으로 48 내지 52 중량%, 대안적으로 49 내지 51 중량%일 수 있으며, 이들 전부는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 한다.

[0030] "은-코팅된 코어 입자"는 미분화된 코어-셸 복합체를 의미하며, 여기서, 상기 코어는 은이 아닌 고체 또는 액체 형태의 내부 지지 물질이며, 셸은 원자 번호 47을 갖는 원소 (Ag)의 코팅 또는 필름이고, 셸은 내부 지지 물질을 덮는다. 내부 지지 물질은 비점이 300℃ 초과인 액체(예를 들어, 수은), 대안적으로 고체일 수 있다. 각각의 은-코팅된 코어 입자에서, 내부 지지 물질은 단일 입자, 대안적으로, 복수의 입자의 클러스터(cluster) 또는 응집체일 수 있다. 내부 지지 물질은 전기 전도성 또는 전기 비-전도성 (절연성)일 수 있다. 전기 비-전도성 내부 지지 물질은 실리카 유리 (예를 들어, 소다-석회-실리카 유리 또는 붕규산 유리(borosilicate glass)), 탄소의 다이아몬드 다형체, 실리카, 유기 중합체, 유기실록산 중합체, 또는 세라믹일 수 있다. 실리카 유리 입자는 중실 또는 중공일 수 있다. 전기 전도성 내부 지지 물질은 임의의 비-은, 전기 전도성 입자, 예를 들어, Ag 입자 이외의 고체 금속 입자, 은이 결여된 고체 금속 합금 입자, 탄소의 비-다이아몬드 동소체의 입자, 또는 이들의 혼합물일 수 있다. 따라서, 내부 지지 물질은 알루미늄; 실리카 유리; 카본; 세라믹; 구리; 철; 리튬; 몰리브덴; 니켈; 유기 중합체; 팔라듐; 백금; 실리카; 주석; 텅스텐; 아연; 또는 알루미늄, 구리, 철, 리튬, 몰리브덴, 니켈, 팔라듐, 백금, 주석, 텅스텐, 및 아연 중 임의의 2가지 이상의 금속 합금; 또는 알루미늄; 실리카 유리; 카본; 세라믹; 구리; 철; 리튬; 몰리브덴; 니켈; 유기 중합체; 팔라듐; 백금; 실리카; 주석; 텅스텐; 아연; 및 그 금속 합금 중 임의의 2가지 이상의 물리적 블렌드일 수 있다. 내부 지지 물질의 재료는 본 명세서에 기재된 바와 같이 전기 전도성 금속 충전제의 비-Ag 물질과 동일하거나 또는 이와는 상이할 수 있다. Ag-코팅된 코어 입자 중 은의 농도는 2 내지 59 중량% (예를 들어, 이후에 기재된 태양 1의 실시 형태), 대안적으로 2 내지 58 중량%, 대안적으로 10 내지 45 중량%, 대안적으로 12 내지 43 중량%, 대안적으로 28 내지 42 중량%일 수 있으며, 이들 전부는 Ag-코팅된 코어 입자의 중량을 기준으로 한다. Ag-코팅된 코어 입자의 예로는 은-코팅된 니켈 입자가 있으며, 여기서 상기 코어 또는 내부 지지 물질은 니켈이다. 은-코팅된 니켈 입자의 예로는 Ag-코팅된 니켈 입자들의 중량을 기준으로 15 중량%의 Ag (Ag/Ni-15), 30 중량%의 Ag (Ag/Ni-30), 또는 40 중량%의 Ag (Ag/Ni-40)을 갖는 Ag-코팅된 니켈 입자가 있다. 경화성 실리콘 조성물 중 Ag-코팅된 코어 입자의 농도는 12 내지 28 중량% (예를 들어, 이후에 기재된 태양 1의 실시 형태), 대안적으로 15 내지 25 중량%, 대안적으로 16 내지 22 중량%, 대안적으로 16 내지 20 중량%, 대안적으로 17 내지 20 중량%일 수 있으며, 이들 전부는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 한다. Ag-코팅된 코어 입자로 인한 경화성 실리콘 조성물 중 Ag 함량의 기여분(contribution)을 계산하는 예로서, 경화성 실리콘 조성물 중 Ag-코팅된 코어 입자가 Ag-코팅된 니켈 입자의 중량을 기준으로 40 중량%의 은을 갖는 Ag-코팅된 니켈 입자 (즉, Ag/Ni-40)로 이루어지고, Ag-코팅된 니켈 입자 (즉, Ag/Ni-40)가 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 경화성 실리콘 조성물 중에 20 중량%로 존재할 때, Ag-코팅된 니켈 입자는 경화성 실리콘 조성물 중 8.0 중량%의 Ag (20 중량% × 0.40 = 8.0 중량% Ag)를 제공할 것이다. 그러한 경화성 실리콘 조성물 중 Ag의 나머지는 Ag 입자에 의해 제공될 것이다. 예를 들어, 경화성 실리콘 조성물 중에 은 입자가 47 중량%로 그리고 Ag/Ni-40 입자가 20 중량% - 이들 둘 모두는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 함 - 로 존재하면, 경화성 실리콘 조성물 중 은의 총 농도는 55 중량%의

Ag (47 중량% + 8.0 중량% = 55 중량%)일 것이다.

[0031] 본 발명에서, 은 입자의 양 및 은-코팅된 입자의 양 (은-코팅된 입자 중 은의 농도를 설명함)으로부터 계산된 은의 양과 경화성 실리콘 조성물 중 은의 총 농도 사이에 우연한 상충이 있을 경우, 경화성 실리콘 조성물 중 은의 총 농도가 좌우하여서, 필요할 경우 경화성 실리콘 조성물 중 은의 총 농도를 충족시키도록 은 입자 및 은-코팅된 입자의 양이 조정될 수 있게 한다. 경화성 실리콘 조성물 중 은의 총 농도는 49.6 내지 60 중량% 미만 (예를 들어, 이후에 기재되는 태양 1의 실시 형태), 대안적으로 50.0 내지 59.4 중량%, 대안적으로 50.7 내지 59.4 중량%, 대안적으로 54 내지 59.0 중량%, 대안적으로 54.0 내지 59.0 중량%, 대안적으로 56.0 내지 58.0 중량%, 예를 들어 52.9 내지 58.1 중량%일 수 있으며, 이들 전부는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 한다. 경화성 실리콘 조성물에는 은 입자 및 Ag-코팅된 코어 입자 이외의 임의의 공급원으로부터의 은이 결여될 수 있다. 유리하게는, 경화성 실리콘 조성물 중 은의 농도는 생성된 ECSA의 유익한 전기 전도도 및 체적 저항률 특성을 손실시키지 않고서도 비용을 감소시키도록 유익하게 제한될 수 있다.

[0032] 은 입자는 전기 전도도 (K) $\geq 1 \times 10^6$ S/m, 대안적으로 $K \geq 1.0 \times 10^7$ S/m, 대안적으로 $K \geq 5.0 \times 10^7$ S/m, 대안적으로 $K \geq 6.0 \times 10^7$ S/m인 것을 특징으로 할 수 있다. Ag-코팅된 입자 (예를 들어, Ag/Ni-40 입자)는 전기 전도도 (K) $\geq 1 \times 10^6$ S/m, 대안적으로 $K \geq 2.0 \times 10^6$ S/m, 대안적으로 $K \geq 5.0 \times 10^6$ S/m, 대안적으로 $K \geq 1.0 \times 10^7$ S/m인 것을 특징으로 할 수 있다. 은 입자 및 Ag-코팅된 코어 입자는, 독립적으로, 직육면체형, 플레이트형, 과립형, 불규칙(irregular)형, 로드(rod)형, 침형(needle), 분말형, 구형, 또는 직육면체형, 플레이트형, 과립형, 불규칙형, 로드형, 침형, 분말형 및 구형의 임의의 2가지 이상의 형상의 조합으로 존재할 수 있다. 은 입자의 중간 입자 크기는 0.005 내지 20 마이크로미터 (μm)일 수 있다. 은 입자는 500 μm , 대안적으로 200 μm , 대안적으로 100 μm , 대안적으로 50 μm , 대안적으로 30 μm 의 최대 입자 크기; 및 0.0001 μm , 대안적으로 0.0005 μm , 대안적으로 0.001 μm 의 최소 입자 크기를 특징으로 할 수 있다. Ag-코팅된 코어 입자의 중간 입자 크기는 5 내지 100 μm 일 수 있다. Ag-코팅된 코어 입자는 1 밀리미터 (mm), 대안적으로 100 μm , 대안적으로 50 μm , 대안적으로 10 μm , 대안적으로 1 μm , 대안적으로 500 나노미터 (nm)의 최대 입자 크기; 및 > 0.001 μm , 대안적으로 0.01 μm , 대안적으로 0.1 μm 의 최소 입자 크기를 특징으로 할 수 있다. 이 입자 크기는 입자 크기 분포 분석에 의해 결정되고, μm 단위의 중간 입자 크기 ($D < 50$)로서, 대안적으로, 10% (D_{10}), 50% (D_{50}) 및 90% (D_{90})의 누적 입자 크기 분포가 그것보다 더 작은 값으로 발견되는 μm 단위의 직경으로서 보고될 수 있다. 경화성 실리콘 조성물의 제조 전에, 입자 크기는 레이저 회절 또는 입자 크기 분석 기기를 이용하여 건조 형태의 또는 분산제 (예를 들어, 물)에 분산된 Ag 입자 또는 Ag-코팅된 코어 입자의 샘플을 이용하여 측정될 수 있다. 예를 들어, 몰번 마스터사이저(MALVERN MASTERSIZER) S 입자 크기 분석 기기 (영국 우스터셔 몰번 소재의 몰번 인스트루먼트(Malvern Instruments))가 300 nm 내지 1000 μm 의 범위의 크기를 갖는 입자에서 사용될 수 있으며; 마이크로트랙 나노트랙(MICROTRAC NANOTRAC) UPA150 입자 크기 분석 기기 (미국 펜실베이니아주 몽고메리빌 소재의 마이크로트랙, 인크.(Microtrac, Inc.))가 5 nm 내지 4 μm 의 범위의 크기를 갖는 입자에서 사용될 수 있다. 원자력 현미경법(atomic force microscopy; AFM), 주사 전자 현미경법(scanning electron microscopy; SEM) 또는 투과 전자 현미경법(transmission electron microscopy; TEM)은 Ag 입자 및/또는 Ag-코팅된 코어 입자가 경화성 실리콘 조성물에 분산된 후 또는 이를 ECSA로 경화시킨 후 Ag 입자 및/또는 Ag-코팅된 코어 입자의 입자 크기를 측정하는 데 사용될 수 있다. 본 명세서에서 달리 기술되지 않으면, 임의의 입자 크기 측정은 이를 함유하는 경화성 실리콘 조성물의 제조 이전의 입자에 대한 것이다.

[0033] 은 입자 (예를 들어, 은 플레이트) 및 Ag-코팅된 코어 입자는 독립적으로 표면 처리될 수 있다. 예를 들어, 그러한 입자는 경화성 유기실록산 조성물에 의한 "습윤성"(wettability) 및/또는 경화성 실리콘 조성물, ECSA, 또는 이들 둘 모두 중의 분산성(dispersability)을 향상시키도록 (즉, 증가시키도록) 표면 처리될 수 있다. 표면 처리는 상기 입자를 화학 물질, 예를 들어 산, 염기, 상용화제(compatibilizer), 윤활제, 또는 가공 보조제 (processing aid)와 접촉시키는 것을 포함할 수 있다. 상기 화학 물질은 수성 수산화나트륨, (C_4 - C_{28})카르복실산 또는 에스테르 (예를 들어, 지방산 또는 지방산 에스테르), 탄화수소 비히클, 규소-함유 화합물, 또는 황산일 수 있다. 규소-함유 화합물은 유기클로로실란, 유기실록산, 유기다이실라잔, 유기알콕시실란일 수 있다. 윤활제는 은 분말이 내간 압착되지 않거나 또는 응집체를 형성하지 않도록 은 분말로부터 은 플레이트를 제조하는 밀링(milling) 공정 동안 은 입자들을 처리하는 데 사용될 수 있다. 화학 물질은 은 입자 및/또는 Ag-코팅된 코어 입자가 경화성 실리콘 조성물의 다른 성분과 혼합되기 전에 은 입자 및/또는 Ag-코팅된 코어 입자로부터 제거될 수 있으며, 대안적으로, 제거되지 않을 수 있다. 처리된 입자가 처리 공정 후 용매로 세척된다 하더라도, 일부 화학 물질, 예를 들어 윤활제 또는 상용화제는 상기 입자의 표면 상에 화학흡착된 채로 남아 있을

수 있다.

[0034] 본 발명에서 사용되는 탄소 나노튜브는 단일벽 탄소 나노튜브; 다중벽 탄소 나노튜브; 유도된(derivatized) 단일벽 탄소 나노튜브; 유도된 다중벽 탄소 나노튜브; 또는 단일벽 탄소 나노튜브, 다중벽 탄소 나노튜브, 유도된 단일벽 탄소 나노튜브 및 유도된 다중벽 탄소 나노튜브 중 임의의 2가지 이상의 혼합물일 수 있다. 탄소 나노튜브는 전기 전도도 (K) ≥ 1 S/m인 것을 특징으로 할 수 있다. "단일벽 탄소 나노튜브" (SWCNT)는 단일 원통형 구조 (즉, 원통형 그래핀)를 갖는 탄소의 동소체이다. "다중벽 탄소 나노튜브" (MWCNT)는 동축 (동심) 원통형 구조 (원통 내의 원통 ("러시아 인형(Russian Doll) 모델"))의 형태의 흑연의 다수의 시트 (그래핀 시트)를 갖는, 또는 말린(rolled) 두루마리-유사 구조 ("양피지(Parchment) 모델")를 형성하도록 그 자신 주위로 말린 흑연의 단일 시트 (그래핀 시트)를 갖는, 또는 이들의 조합을 갖는 탄소의 동소체이다. CNT는 "대나무-유사" 구조를 가질 수 있거나 또는 갖지 않을 수 있는데, 이는 아르곤 분위기 하에서 800 내지 980°C에서 멜라민의 화학 증착 열분해에 의해 제조될 수 있다. "유도된 탄소 나노튜브"는 그래핀화된(graphenated) 탄소 나노튜브, 작용기-함유 탄소 나노튜브, 또는 이들의 조합 구조이다. 작용기-함유 CNT는 탄소 나노튜브 벽의 탄소 원자에 공유 결합되는 하나 이상의 헤테로원자-함유 모이어티(moiety)를 가지며, 여기서, 상기 모이어티는 O, N, S, P, 또는 할로겐 (F, Cl, Br, 또는 I)인 하나 이상의 헤테로원자를 갖는다. 그러한 작용기의 예로는 $-NO_3$, $-SO_3H$, $-PO_3H$, $-OH$, $-COOH$, 및 $-NH_2$ 가 있다. "그래핀화된 탄소 나노튜브"는 SWCNT 또는 MWCNT의 측벽에 공유 결합된 흑연 엽상체(graphitic foliate)를 포함하는 하이브리드 구조이다. 작용기-함유 탄소 나노튜브는 이의 상업적 공급처로부터 획득되거나 또는 임의의 적합한 방법에 따라 제조될 수 있다. 적합한 방법의 예에는, 작용기-함유 탄소 나노튜브를 제공하도록 출발 탄소 나노튜브의 탄소 원자 상에 하나 이상의 작용기가 설치되도록 화학 물질, 환경 조건, 또는 이들의 임의의 조합에 출발 탄소 나노튜브를 노출시키는 것이 포함된다. 화학 물질은 수성 염기, 예를 들어 수성 수산화나트륨 또는 수성 산, 예를 들어 황산, 질산, 산화제 (예를 들어, 산소 가스), 또는 이들의 혼합물일 수 있다. 환경 조건은 열처리 (예를 들어, 900°C 내지 1,100°C, 1 내지 60분), 불활성 분위기, 또는 이들의 임의의 조합일 수 있다. 그래핀화된 탄소 나노튜브는 이의 상업적 공급처로부터 획득되거나 또는 임의의 적합한 방법에 따라 제조될 수 있다. 상기 적합한 방법의 예에는 문헌[Yu, K., et al., *Carbon Nanotube with Chemically Bonded Graphene Leaves for Electronic and Optoelectronic Applications*, J. Phys. Chem. Lett., 2011;13(2): 1556-1562]; 문헌[Stoner, B. R. et al., *Graphenated carbon nanotubes for enhanced electrochemical double layer capacitor performance*, Appl. Phys. Lett., 2011;99(18):183104-1 to 183104-3]; 및 문헌[Hsu, H-C et al., *Stand-up structure of graphene-like carbon nanowalls on CNT directly grown on polyacrylonitrile-based carbon fiber paper as supercapacitor*, Diamond and Related Materials, 2012;25:176-179]의 방법들 중 어느 하나가 포함된다. 조합 구조의 예로는 $-NO_3$, $-SO_3H$, $-PO_3H$, $-OH$, $-COOH$, 또는 $-NH_2$ 작용화된 그래핀화된 탄소 나노튜브, 예를 들어 $-NO_3$, $-SO_3H$, $-PO_3H$, $-OH$, $-COOH$, 또는 $-NH_2$ 기가 상기 조합 구조의 0.01 내지 5 중량%, 대안적으로 0.1 내지 3 중량%, 대안적으로 0.5 내지 2 중량% (예를 들어, 1 중량%)로 포함된 것이 있다.

[0035] 상이한 유형의 탄소 나노튜브 입자 각각은 독립적으로 10 μ m, 대안적으로 1 μ m, 대안적으로 500 nm, 대안적으로 300 nm, 대안적으로 200 nm, 대안적으로 100 nm, 대안적으로 50 nm의 최대 외경; 및 1 nm, 대안적으로 2 nm, 대안적으로 5 nm, 대안적으로 8 nm, 대안적으로 10 nm, 대안적으로 15 nm, 대안적으로 25 nm의 최소 외경을 특징으로 할 수 있다. 탄소 나노튜브 입자는 1 mm, 대안적으로 500 μ m, 대안적으로 300 μ m, 대안적으로 150 μ m, 대안적으로 100 μ m, 대안적으로 50 μ m, 대안적으로 25 μ m의 최대 길이; 및 0.1 μ m, 대안적으로 1 μ m, 대안적으로 5 μ m, 대안적으로 10 μ m, 대안적으로 20 μ m의 최소 길이를 특징으로 할 수 있다. 라만(Raman) 분광법, AFM, SEM 또는 TEM, 예를 들어, TEM이 상기 직경 및 길이의 측정에 사용될 수 있다.

[0036] 탄소 나노튜브는 임의의 적합한 수단, 예를 들어 혼합, 초음파 처리 또는 이들의 조합에 의해 경화성 실리콘 조성물의 경화성 유기실록산 조성물에 분산될 수 있다. 경화성 실리콘 조성물 중 탄소 나노튜브의 농도는 0 초과 내지 5.0 중량% (예를 들어, 이후에 기재되는 태양 1의 실시 형태), 대안적으로 0.01 내지 4.9 중량%, 대안적으로 0.05 내지 3.9 중량%, 대안적으로 0.1 내지 2.9 중량%, 대안적으로 0.4 내지 2.5 중량%, 대안적으로 0.6 내지 2.3 중량%, 대안적으로 0.7 내지 2.2 중량%, 예를 들어 0.4 내지 2.2 중량% 또는 0.50 내지 2.0 중량%일 수 있으며, 이들 전부는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 한다. 유리하게는, 경화성 실리콘 조성물 중 탄소 나노튜브의 농도는 다른 고도 전기 전도성 금속 또는 귀금속 충전제, 예를 들어 구리 및 금 금속을 첨가하지 않고서도 생성된 ECSA의 체적 저항률을 0.001 Ω -cm 미만으로 유익하게 유지하면서, 그리고 경화성 실리콘 조성물 중 은의 총 농도를 50 내지 60 중량% 미만의 경제적으로 매력적인 범위 내로 유지하면서 요변 지수와 같은

유동학적 특성을 조정하도록 전술한 범위 내에서 달라질 수 있다. 경화성 실리콘 조성물에 있어서 4 중량% 미만의 탄화수소 비히클의 농도, 또는 4 중량% 미만의 탄화수소 비히클의 농도 및 탄소 나노튜브의 부재, 또는 4 중량% 미만의 탄화수소 비히클의 농도 및 상이한 비-금속성 충전제에 의한 탄소 나노튜브의 대체는 생성된 ECSA의 체적 저항률이 0.001 옴-cm 초과, 대안적으로 0.1 옴-cm 초과, 대안적으로 1 옴-cm 초과가 되게 할 수 있다.

[0037] 은 입자, 은-코팅된 코어 입자, 및 탄소 나노튜브의 배합물 이외의 전기 전도성 충전제는 20°C에서 0.001 옴-센티미터 미만의 체적 저항률 (ρ) 및 20°C에서 1×10^5 지멘스/미터 (S/m) 초과와 전기 전도도 (K)를 특징으로 하는 임의의 다른 고체 입자를 의미한다. 이러한 다른 고체 입자는 은 입자 이외의 고체 금속 입자, 은 합금 입자 이외의 고체 금속 합금 입자, 탄소 나노튜브 이외의 탄소의 비-다이아몬드 동소체의 입자 및 이들의 혼합물을 포함한다. 은 입자 이외의 고체 금속 입자는 상기에 기재된 은 이외의 전기 전도성 금속의 입자를 포함하지만, 이에 한정되지 않는다. 예를 들어, 은 입자 이외의 고체 금속 입자는 구리, 금, 알루미늄, 칼슘, 텅스텐, 아연, 니켈, 리튬, 철, 백금, 주석, 납, 티타늄 및 게르마늄의 입자를 포함한다. 은 합금 입자 이외의 고체 금속 합금 입자는 탄소강 (예를 들어, 1010), 방향성 전기 강판, 망가닌, 콘스탄탄, 스테인리스강 및 니크롬의 입자를 포함하지만, 이에 한정되지 않는다. 탄소 나노튜브 이외의 탄소의 비-다이아몬드 동소체는 탄소의 무정형, 피브릴형, 유리질 (유리 같은) 및 흑연 다형체를 포함하며, 탄소의 다이아몬드 다형체는 포함하지 않는다 (배제한다). 탄소 나노튜브 이외의 탄소의 비-다이아몬드 동소체는 입자가 작용기 (예를 들어, -COOH 또는 -NH₂)로 유도되었고/되었거나 화학 물질 (수성 염기, 예를 들어 수성 수산화나트륨 또는 수성 산, 예를 들어 황산, 질산 또는 이들의 혼합물) 또는 환경 조건 (예를 들어, 산화 및/또는 열처리) 또는 이들의 임의의 조합으로 처리된, 탄소의 무정형, 피브릴형, 유리질, 및 흑연 다형체를 또한 포함한다.

[0038] "경화성 유기실록산 조성물"은 임의의 경화성 유기실록산, 예를 들어 축합 경화성 유기실록산, 자유 라디칼 경화성 유기실록산, 또는 하이드로실릴화-경화성 유기실록산일 수 있다. "실리콘"은 선형 및 분지형 유기실록산을 포함한다. 본 발명의 주요한 이점은 임의의 경화성 유기실록산을 이용하는 실시 형태에 의해 성취될 수 있다.

[0039] 경화성 유기실록산 조성물의 경화 또는 경화 속도는, 그의 반응성 작용기에 따라, 경화성 유기실록산 조성물을 금속-함유 촉매, 열, 자외(UV)광, O₂, 과산화물, 물 (예를 들어, 공기 중 수증기), 또는 이들의 조합과 접촉시킴으로써 향상될 수 있다. 금속-함유 촉매의 금속은 Sn, Ti, Pt, 또는 Rh일 수 있다. 축합 경화성 유기실록산은 하이드록시-작용화되고/되거나 알콕시-작용화될 수 있다. 축합 경화성 유기실록산의 경화 또는 경화 속도는 수분, 열, 또는 열과 수분에 의해 향상될 수 있다. 자유 라디칼 경화성 유기실록산은 알케닐-작용화되고/되거나 (예를 들어, 비닐), 알킬닐-작용화될 수 있다. 자유 라디칼 경화성 유기실록산의 경화 또는 경화 속도는 UV 광 또는 과산화물, 열, 또는 이들 둘 모두에 의해 향상될 수 있다. 하이드로실릴화-경화성 유기실록산은 알케닐 작용화되고 (예를 들어, 비닐) Si-H 작용화될 수 있다. 하이드로실릴화-경화성 유기실록산의 경화 또는 경화 속도는 하이드로실릴화 촉매 (예를 들어, Pt 촉매), 열, 또는 하이드로실릴화 촉매와 열 둘 모두에 의해 향상될 수 있다.

[0040] 각각의 유기실록산 분자는 규소, 탄소, 수소 및 산소 원자를 포함한다. "유기실록산"에서 사용되는 바와 같이, "유기"라는 용어는 하이드로카르빌, 헤테로하이드로카르빌, 또는 유기헤테릴을 의미하며, 상기 기는 본 명세서에서 유기기로 총칭된다. 각각의 유기기는 헤테로하이드로카르빌, 대안적으로 유기헤테릴, 대안적으로 하이드로카르빌일 수 있다. 하이드로카르빌, 헤테로하이드로카르빌, 및 유기헤테릴 기는 이후에 설명된다. 각각의 유기기, 예를 들어, (C₁-C₂₀)하이드로카르빌은 1 내지 20개의 탄소 원자를 가질 수 있다. 각각의 유기실록산 분자는 단지 비치환 하이드로카르빌 기를 함유할 수 있다 (즉, 단지 규소, 탄소, 수소 원자가 탄소 원자에 결합된 것, 및 산소 원자를 함유할 수 있다). 대안적으로, 하나 이상의 유기실록산 분자는 헤테로하이드로카르빌, 유기헤테릴, 또는 반응성 작용기로 치환될 수 있다. 각각의 반응성 작용기는 독립적으로 알케닐 또는 알킬닐 모이어티; Si-H 모이어티; Si-OH 모이어티; Si-OR^x 모이어티 (여기서, R^x는 (C₁-C₁₀)하이드로카르빌, -C(O)(C₁-C₁₀)하이드로카르빌임); 또는 -N=CR¹R² 모이어티 (여기서, R¹ 및 R² 각각은 독립적으로 (C₁-C₁₀)하이드로카르빌이거나 또는 R¹ 및 R²는 함께 취해져서 (C₂-C₁₀)하이드로카르빌렌을 형성함)일 수 있다.

[0041] 각각의 유기실록산 분자는 독립적으로, 선형, 분지형, 환형 또는 수지성 구조를 갖는 규소-함유 베이스(base) 중합체를 포함할 수 있다. 예를 들어, 각각의 규소-함유 베이스 중합체는 독립적으로 선형 구조, 대안적으로 분지형 구조, 대안적으로 환형 구조, 대안적으로 수지성 구조를 가질 수 있다. 각각의 규소-함유 베이스 중합

체는 독립적으로 단일중합체 또는 공중합체일 수 있다. 각각의 규소-함유 베이스 중합체는 독립적으로, 분자당 하나 이상의 반응성 작용기를 가질 수 있다. 적어도 일부의, 대안적으로 대부분의, 대안적으로 실질적으로 전부의 반응성 작용기는 경화성 유기실록산 조성물의 경화 동안 반응하여 경화된 유기실록산을 제공한다. 반응성 작용기는 독립적으로, 규소-함유 베이스 중합체 상의 말단 위치, 펜던트 위치, 또는 말단 및 펜던트 위치에 위치할 수 있다. 경화성 유기실록산 조성물의 각각의 유기실록산 분자는 단일 규소-함유 베이스 중합체일 수 있으며, 대안적으로, 하기 특성들 중 하나 이상에 있어서 서로와는 상이한 2가지 이상의 규소-함유 베이스 중합체를 포함할 수 있다: 구조, 점도, 평균 분자량, 실록산 단위, 및 단위 시퀀스(unit sequence).

[0042] 축합 경화성 유기실록산은 분자당 평균 1개 이상의 하이드록실 모이어티를 갖는 다이오르가노실록산 화합물, 또는 상기 다이오르가노실록산 화합물과 분자당 평균 하나 이상의 할로겐 원자 (예를 들어, Cl, F, Br, 또는 I)를 갖는 유기할로겐규소 화합물의 혼합물일 수 있다. 대안적으로, 축합 경화성 유기실록산은 미국 특허 제 6,534,581 B1호의 컬럼 3, 3행 내지 컬럼 4, 63행에 기재된 성분 (A)와 성분 (B)의 혼합물일 수 있다. (성분 (A) 및 성분 (B)는 본 명세서에서 이후에 기재되는 성분 (A) 및 성분 (B)와는 상이하다.) 그러나, 본 발명은 이러한 축합 경화성 유기실록산에 한정되지 않는다.

[0043] "다이오르가노실록산 화합물" (축합 경화성이든지 아니든지 간에)에서 사용되는 바와 같이, "다이오르가노"라는 용어는 화학식 $R_2SiO_{2/2}$ 의 하나 이상의 2작용성 (D) 단위를 갖는 분자를 의미하며; 여기서, 각각의 R은 독립적으로 유기기이다. 다이오르가노실록산 화합물의 예로는 D 단위의 각각의 유기 기가 메틸인 폴리다이메틸실록산; D 단위의 유기 기가 화학식 $CH_3(CH_2CH_2)SiO_{2/2}$ 의 D 단위에서와 같이 메틸 및 에틸 기인 폴리(에틸, 메틸)실록산; 및 D 단위의 유기 기가 화학식 $CH_3(C_6H_5)SiO_{2/2}$ 의 D 단위에서와 같이 메틸 및 페닐 기인 폴리(메틸, 페닐)실록산이 있다. 다이오르가노실록산 화합물은 다이오르가노사이클로실록산 화합물에서와 같이 전부 D 단위를 가질 수 있다. 전형적으로, 다이오르가노실록산 화합물은 하나 이상의 M, Q, 및/또는 T 단위를 추가로 갖는다. 반응성 작용기(들)는 임의의 하나 이상의 D 단위 및/또는 하나 이상의 임의의 M 및/또는 Q 단위 상에 있을 수 있다.

[0044] 축합 경화성 유기실록산은 분자당 평균 1개 이상의 알케닐 모이어티를 갖는 다이오르가노실록산 화합물일 수 있다. 대안적으로, 자유 라디칼 경화성 유기실록산은 미국 특허 제 7,850,870 B2호의 컬럼 5, 28행 내지 컬럼 12, 9행에 기재된 중합성 단량체의 경화 생성물, 중합체 또는 올리고머일 수 있다. 그러나, 본 발명은 이러한 자유 라디칼 경화성 유기실록산에 한정되지 않는다.

[0045] 전형적으로, 경화성 실리콘 조성물 및 그의 경화성 유기실록산 조성물은 하이드로실릴화-경화성 유기실록산을 포함하며, 경화 후, ECSA는 적어도 부분적으로 하이드로실릴화 경화된 유기실록산을 포함한다. 그러나, 본 발명은 하이드로실릴화-경화성/경화된 유기실록산의 사용에 한정되지 않는다.

[0046] 적어도 부분적인 경화 전에, 하이드로실릴화-경화성 유기실록산의 제1 실시 형태는 전형적으로, 성분 (A)가 Si-H 모이어티를 함유할 때 성분 (A) 및 성분 (C)를 포함한다. 대안적으로, 하이드로실릴화-경화성 유기실록산의 제2 실시 형태는 전형적으로, 성분 (A)가 Si-H 모이어티를 함유하거나 또는 Si-H 모이어티가 결여될 때, 성분 (A), 성분 (B) 및 성분 (C)를 포함한다. 성분 (A) 내지 성분 (C)는 (A) 분자당 평균 하나 이상의 불포화 탄소-탄소 결합을 갖는 하나 이상의 다이오르가노실록산 화합물; (B) 분자당 평균 하나 이상의 Si-H 모이어티를 갖는 유기하이드로젠실리콘(organohydrogensilicon) 화합물; 및 (C) 하이드로실릴화 촉매이다. 성분 (B)는 성분 (A)의 연장 또는 가교결합을 위한 사슬 연장제 또는 가교결합제로서의 기능을 할 수 있다.

[0047] "유기하이드로젠실리콘 화합물" (하이드로실릴화 경화성이든지 아니든지 간에)에서 사용되는 바와 같이, "유기하이드로젠"이라는 용어는 화학식 $RHSi$ 의 하나 이상의 2작용성 단위를 갖는 분자를 의미하며, 여기서, R은 독립적으로 유기기이다. 유기하이드로젠실리콘 화합물이 유기하이드로젠실록산 화합물일 때, 상기 분자는 화학식 $RHSiO_{2/2}$ 의 2작용성 (D) 단위를 가지며; 여기서, R은 독립적으로 유기기이다.

[0048] 하이드로실릴화 경화 동안, 제1 실시 형태에서의 성분 (A)의 상이한 분자들, 또는 제2 실시 형태에서의 성분 (A) 및 성분 (B)는 하이드로실릴화를 통하여 함께 반응하여서 상기 적어도 부분적으로 하이드로실릴화 경화된 유기실록산을 제공한다. 상기 반응은 상당한 경화; 대안적으로 완전한 경화를 제공할 수 있다. 하이드로실릴화 경화된 유기실록산은 실질적으로 경화될 수 있으며, 대안적으로 완전히 경화될 수 있다. 실질적으로 경화된 이라는 것은 제한 성분을 기준으로 90 몰% 이상, 대안적으로 95 몰% 이상, 대안적으로 98 몰% 이상 경화된 경화 정도를 의미한다. 경화 정도는 시차 주사 열량법(Differential Scanning Calorimetry; DSC)에 의해 결정될 수 있다. 완전히 경화된 물질은 완전히 경화된 물질의 샘플이 DSC 측정 동안 가열될 때 DSC 분석에 의해서는 발열 피크를 나타내지 않을 것이다. 경화가 가능한 미경화된 물질은 미경화된 물질의 샘플이 DSC 측정 동안 가열될

때 DSC 분석에 의해 미경화된 물질에 대하여 최대 면적을 갖는 발열 피크 (예를 들어, 열을 발생시키거나 또는 방출하는 반응 또는 혼합과 같은 발열 이벤트(event)를 나타냄)를 나타낼 것이다. 부분적으로 경화된 물질은 발열 피크를 나타낼 것이며, 여기서, 이의 면적은 미경화된 물질에 대한 발열 피크의 면적과 경화된 물질에 대한 0의 면적 (발열 피크 없음) 사이의 중간일 것이다. 미경화된 물질의 발열 피크의 면적과 비교한 부분적으로 경화된 물질의 발열 피크의 면적의 비율은 부분적으로 경화된 물질의 경화 퍼센트에 비례할 것이다. 각각의 다이오르가노실록산 화합물 및 유기하이드로젠실리콘 화합물은 독립적으로 동일할 수 있으며 (즉, 동일 분자 중에 Si-H 및 불포화 탄소-탄소 결합 둘 모두를 가질 수 있으며), 대안적으로 상이할 수 있다. 성분 (A) 및 성분 (B)가 동일 화합물일 때, 경화는 분자간 하이드로실릴화를 포함하며, 분자내 하이드로실릴화도 포함할 수 있다. 성분 (A) 및 성분 (B)가 상이한 화합물일 때, 경화는 분자간 하이드로실릴화를 포함한다.

[0049] 상기 하나 이상의 다이오르가노실록산 화합물인 성분 (A)는 하이드로실릴화-경화성이며, 단일 다이오르가노실록산 화합물, 또는 복수의 상이한 다이오르가노실록산 화합물을 포함할 수 있다. 전술한 단락에서 제안된 바와 같이, 각각의 다이오르가노실록산 화합물은 Si-H 모이어티를 함유할 수 있으며, 대안적으로 Si-H 모이어티가 결여될 수 있다. 각각의 다이오르가노실록산 화합물은 독립적으로, 분자당 평균 1개 이상, 대안적으로 1개 초과, 대안적으로 2개 이상, 대안적으로 3개 이상, 대안적으로 5개 이상, 대안적으로 10개 이상의 불포화 탄소-탄소 결합을 가질 수 있다. 각각의 불포화 탄소-탄소 결합은 독립적으로 C=C (알케닐) 또는 C≡C (알키닐)이다. 전형적으로, 불포화 탄소-탄소 결합들 중 하나 이상은 C=C이며, 대안적으로 불포화 탄소-탄소 결합들 전부 C=C이며, 대안적으로 불포화 탄소-탄소 결합들 중 하나 이상은 C≡C이며, 대안적으로 전부 C≡C이며, 대안적으로 상기 불포화 탄소-탄소 결합은 C=C와 C≡C의 조합이다. 다이오르가노실록산 화합물은 알키닐 실록산 또는 알케닐 실록산일 수 있으며, 여기서, 각각 하나 이상의 알키닐 또는 알케닐 기가 있고, 알키닐 또는 알케닐 기 각각은 탄소, 산소 또는 규소 원자로부터 펜딩(pending)된 것일 수 있다. 각각의 알케닐 기는 독립적으로 하나 이상의 C=C 결합을 가질 수 있다. 각각의 알케닐은 하나의 C=C를 갖고, (C₂-C₆)알케닐, 대안적으로 (C₂-C₄)알케닐 (예를 들어, 비닐 또는 알릴)일 수 있다. 알케닐 중 C=C 결합은 5-헥센-1-일에서와 같이 내부적이거나, 또는 H₂C=C(H)-(C₀-C₆)알킬렌에서와 같이 말단 알케닐일 수 있다 (H₂C=C(H)-(C₀)알킬렌은 비닐이다). 알키닐 및 알케닐 기는 독립적으로, 다이오르가노실록산 화합물 중 임의의 간격으로 및/또는 위치에, 예를 들어 말단 위치, 펜던트 위치, 또는 말단 및 펜던트 (내부) 위치 둘 모두에 위치할 수 있다. 다이오르가노실록산 화합물(들)은, 성분 (A)가 분자당 평균 하나 이상의 불포화 탄소-탄소 결합을 갖기만 한다면, 2가지 이상의 상이한 다이오르가노실록산 화합물의 혼합물 또는 블렌드일 수 있다. 다이오르가노실록산 화합물은 다이오르가노사이클로실록산 단량체 또는 폴리다이오르가노실록산일 수 있다.

[0050] 성분 (A)를 다시 언급하면, 폴리다이오르가노실록산은 직쇄 또는 분지형, 비가교결합 또는 가교결합형이고, 2개 이상의 D 단위를 포함할 수 있다. 임의의 폴리다이오르가노실록산은 추가의 D 단위를 추가로 포함할 수 있다. 임의의 폴리다이오르가노실록산은 임의의 공유적 조합 형태의 하나 이상의 M, T, 또는 Q 단위; 대안적으로 하나 이상의 M 단위; 대안적으로 하나 이상의 T 단위; 대안적으로 하나 이상의 Q 단위; 대안적으로 하나 이상의 M 단위 및 하나 이상의 T 단위의 임의의 공유적 조합을 추가로 포함할 수 있다. 상기 공유적 조합을 포함하는 폴리다이오르가노실록산은 DT, MT, MDM, MDT, DTQ, MTQ, MDTQ, DQ, MQ, DTQ, 또는 MDQ 폴리다이오르가노실록산일 수 있다. 성분 (A)는 폴리다이오르가노실록산의 혼합물 또는 블렌드, 예를 들어, MDM 및 DT 분자의 혼합물일 수 있다. 공지된 부호들 M, D, T, 및 Q는, 공유 결합에 의해 연결된 실록산 단위들을 포함하는 실록산 (예를 들어, 실리콘)에 존재할 수 있는 구조 단위들의 상이한 작용체를 나타낸다. 1작용성 (M) 단위는 R₃SiO_{1/2}를 나타내고; 2작용성 (D) 단위는 R₂SiO_{2/2}를 나타내고; 3작용성 (T) 단위는 RSiO_{3/2}를 나타내며 분지형 선형 실록산들의 형성을 야기하고; 4작용성 (Q) 단위는 SiO_{4/2}를 나타내며 가교결합된 그리고 수지성의 조성물의 형성을 야기한다. 반응성 기-작용성 실록산은, R¹SiO_{3/2} 단위 (즉, T 단위) 및/또는 SiO_{4/2} 단위 (즉, Q 단위)가 R¹R⁴₂SiO_{1/2} 단위 (즉, M 단위) 및/또는 R⁴₂SiO_{2/2} 단위 (즉, D 단위)와 공유적으로 조합된 것일 수 있다. 각각의 "R" 기, 예를 들어, R, R¹ 및 R⁴는 독립적으로 하이드로카르빌, 헤테로하이드로카르빌, 또는 유기헤테릴이며, 본 명세서에서 이들은 유기기로 총칭된다. 각각의 하이드로카르빌, 헤테로하이드로카르빌, 및 유기헤테릴은 독립적으로 1 내지 20개, 대안적으로 1 내지 10개, 대안적으로 1 내지 8개, 대안적으로 1 내지 6개의 탄소 원자를 가질 수 있다. 각각의 헤테로하이드로카르빌 및 유기헤테릴은 독립적으로 탄소, 수소, 및 독립적으로 할로, N, O, S, 또는 P; 대안적으로 S; 대안적으로 P; 대안적으로 할로, N, 또는 O; 대안적으로 할로; 대안적으로 할로; 대안적으로 O; 대안적으로 N일 수 있는 하나 이상의 헤테로원자를 포함한다. 각각의 헤테로하이드로카르빌 및 유기헤테

테틸은 독립적으로 4개 이하, 대안적으로 1 내지 3개, 대안적으로 1 또는 2개, 대안적으로 3개, 대안적으로 2개, 대안적으로 1개의 헤테로원자(들)를 가질 수 있다. 각각의 헤테로하이드로카르빌은 독립적으로 할로하이드로카르빌 (예를 들어, 플루오로메틸, 트라이플루오로메틸, 트라이플루오로비닐, 또는 클로로비닐), 대안적으로 아미노하이드로카르빌 (예를 들어, H₂N-하이드로카르빌) 또는 알킬아미노하이드로카르빌, 대안적으로 다이알킬아미노하이드로카르빌 (예를 들어, 3-다이메틸아미노프로필), 대안적으로 하이드록시하이드로카르빌, 대안적으로 알콕시하이드로카르빌 (예를 들어, 메톡시페닐)일 수 있다. 각각의 유기헤테틸은 독립적으로 하이드로카르빌-N(H)-, (하이드로카르빌)₂N-, 하이드로카르빌-P(H)-, (하이드로카르빌)₂P-, 하이드로카르빌-O-, 하이드로카르빌-S-, 하이드로카르빌-S(O)-, 또는 하이드로카르빌-S(O)₂-일 수 있다. 각각의 하이드로카르빌은 독립적으로 (C₁-C₈)하이드로카르빌, 대안적으로 (C₁-C₆)하이드로카르빌, 대안적으로 (C₁-C₃)하이드로카르빌, 대안적으로 (C₁-C₂)하이드로카르빌일 수 있다. 각각의 (C₁-C₈)하이드로카르빌은 독립적으로 (C₇-C₈)하이드로카르빌, 대안적으로 (C₁-C₆)하이드로카르빌일 수 있다. 각각의 (C₇-C₈)하이드로카르빌은 헵틸, 대안적으로 옥틸, 대안적으로 벤질, 대안적으로 톨틸, 대안적으로 자일틸일 수 있다. 각각의 (C₁-C₆)하이드로카르빌은 독립적으로 (C₁-C₆)알킬, (C₂-C₆)알케닐, (C₂-C₆)알키닐, (C₃-C₆)사이클로알킬, 또는 페닐일 수 있다. 각각의 (C₁-C₆)알킬은 독립적으로 메틸, 에틸, 프로필, 부틸, 또는 펜틸; 대안적으로 메틸 또는 에틸; 대안적으로 메틸; 대안적으로 에틸일 수 있다. 각각의 할로는 독립적으로 브로모, 플루오로 또는 클로로; 대안적으로 브로모; 대안적으로 플루오로; 대안적으로 클로로일 수 있다. 각각의 R, R¹ 및 R⁴는 독립적으로 하이드로카르빌; 대안적으로 할로하이드로카르빌; 대안적으로 하이드로카르빌 및 하나 이상의 헤테로하이드로카르빌; 대안적으로 하이드로카르빌 및 하나 이상의 유기헤테틸일 수 있다. 하이드로실릴화를 겪을 수 있는 알케닐 또는 알키닐 기를 갖는, 분자당 평균 1개 이상의 "R"이 있을 수 있다. 예를 들어, 하이드로실릴화를 각각 독립적으로 겪을 수 있는, 다이오르가노실록산 분자당 평균 4개 이하, 대안적으로 1개 이상, 대안적으로 1개 초과, 대안적으로 2개 이상, 대안적으로 3개 이상, 대안적으로 1 내지 4개, 대안적으로 1 내지 3개의 알케닐 또는 알키닐 기가 있을 수 있다. 적합한 알케닐의 예로는 비닐, 플루오로비닐, 트라이플루오로비닐, 알릴, 4-부텐-1-일, 및 1-부텐-4-일이 있다. 적합한 알키닐의 예로는 아세틸레닐, 프로핀-3-일, 및 1-부텐-4-일이 있다.

[0051]

성분 (A)를 다시 언급하면, 폴리다이오르가노실록산은 폴리다이알킬실록산, 예를 들어, 알킬다이알케닐실록시-말단화된 폴리다이알킬실록산 또는 다이알킬알케닐실록시-말단화된 폴리다이알킬실록산, 예를 들어, 다이알킬비닐실록시-말단화된 폴리다이알킬실록산일 수 있다. 다이알킬비닐실록시-말단화된 폴리다이알킬실록산의 예로는 다이메틸비닐실록시-말단화된 폴리다이메틸실록산; 다이에틸비닐실록시-말단화된 폴리다이메틸실록산; 메틸다이비닐실록시-말단화된 폴리다이메틸실록산; 다이메틸비닐실록시-말단화된 폴리다이메틸실록산; 다이메틸비닐실록시-말단화된 폴리(메틸, 에틸)실록산; 폴리(메틸, (C₇-C₈)하이드로카르빌)실록산; 및 이들의 조합이 있다. 대안적으로, 폴리다이오르가노실록산은 하이드록시-말단화된 폴리다이오르가노실록산일 수 있다. 하이드록시-말단화된 폴리다이오르가노실록산은 펜던트 알케닐, 알키닐, 또는 알케닐 및 알케닐 기를 갖는 하이드록시-말단화된 폴리다이알킬실록산일 수 있다. 하이드록시-말단화된 폴리다이알킬실록산의 예로는 펜던트 비닐 기를 갖는 하이드록시-말단화된 폴리다이메틸실록산; 펜던트 비닐 기를 갖는 하이드록시-말단화된 폴리다이에틸실록산; 펜던트 비닐 기를 갖는 하이드록시-말단화된 폴리(메틸, 에틸)실록산; 펜던트 비닐 기를 갖는 하이드록시-말단화된 폴리(메틸, (C₇-C₈)하이드로카르빌)실록산; 및 이들의 조합이 있다. 말단화된이라는 것은 모노 (알파), 대안적으로 비스 (알파 및 오메가) 말단화를 의미한다. 대안적으로, 전술한 폴리다이알킬실록산들 중 어느 하나는 하나 이상의 (예를 들어, 1 내지 3개의) 내부 (알킬, 알키닐) 단위, 대안적으로 내부 (알킬, 알케닐) 단위 (예를 들어, 메틸, 비닐 또는 에틸, 비닐 단위) 또는 하나 이상의 (예를 들어, 1 내지 3개의) 알케닐-함유 펜던트 기, 예를 들어, 다이메틸비닐실록시-펜던트 기-함유 폴리다이메틸실록산을 추가로 포함할 수 있다. 대안적으로, 폴리다이오르가노실록산은 알케닐다이알킬실록 말단-차단된 폴리다이알킬실록산; 대안적으로 비닐다이메틸실록 말단-차단된 폴리다이메틸실록산일 수 있다. 성분 (A)는 메틸 및 비닐 R 기를 포함하는 폴리다이오르가노실록산일 수 있다. 성분 (A)는 폴리(메틸, 비닐)실록산 (단일중합체); 대안적으로 하이드록시-말단화된 폴리(메틸, 비닐)실록산 (단일중합체); 대안적으로 폴리(메틸, 비닐)(다이메틸)실록산 공중합체; 대안적으로 하이드록시-말단화된 폴리(메틸, 비닐)(다이메틸)실록산 공중합체; 대안적으로 이들 중 임의의 2가지 이상의 혼합물일 수 있다. 폴리(메틸, 비닐)(다이메틸)실록산 공중합체는 R¹, R⁴SiO_{2/2} 단위 (여기서, R¹은 메틸이며, R⁴는 비닐임) 및 R¹, R¹SiO_{2/2} 단위 (여기서, 각각의 R¹은 메틸임)를 갖는 분자를 의미한다.

- [0052] 성분 (A)를 다시 언급하면, 다이오르가노사이클로실록산 단량체는 (R^1, R^4)사이클로실록산일 수 있으며, 여기서, R^1 및 R^4 는 독립적으로 이전에 정의된 바와 같다. (R^1, R^4)사이클로실록산은 ((C_7-C_8)하이드로카르빌,알케닐)사이클로실록산, ((C_7-C_8)하이드로카르빌,알키닐)사이클로실록산, (알킬,알키닐)사이클로실록산, 또는 (알킬,알케닐)사이클로실록산일 수 있으며, 여기서, (C_7-C_8)하이드로카르빌 및 알킬은 독립적으로 이전에 정의된 바와 같다. (알킬,알케닐)사이클로실록산은 예를 들어, (알킬,비닐)사이클로실록산, 예를 들어, (메틸,비닐)사이클로실록산 또는 (에틸,비닐)사이클로실록산일 수 있다.
- [0053] 성분 (A)를 다시 언급하면, 다이오르가노실록산 화합물은 휘발성 다이오르가노실록산을 추가로 포함할 수 있으며, 대안적으로 휘발성 다이오르가노실록산이 실질적으로 결여될 수 있다. 반복하자면, 다이오르가노실록산 화합물은 휘발성 다이오르가노실록산 성분이 보유된 채로 제조된 대로 사용될 수 있으며; 대안적으로 상기 제조된 그대로의 다이오르가노실록산 화합물은 경화성 유기실록산 조성물에서 사용하기 전에 휘발성 분획물을 제거하도록 액화될 수 있다.
- [0054] 성분 (A)를 다시 언급하면, 다이오르가노실록산 화합물은 수평균 분자량 (M_n)이 500 내지 50,000 g/mol, 대안적으로 500 내지 10,000 g/mol, 대안적으로 1,000 내지 3,000, g/mol이며, 여기서, M_n 은 저각 레이저 광 산란 검출기, 또는 굴절률 검출기 및 실리콘 수지 (MQ) 표준물을 이용하여 겔 투과 크로마토그래피에 의해 결정된다. 다이오르가노실록산 화합물의 역학 점도는 0.01 내지 100,000 파스칼-초 (Pa.s), 대안적으로 0.1 내지 99,000 Pa.s, 대안적으로 1 내지 95,000 Pa.s, 대안적으로 10 내지 90,000 Pa.s, 대안적으로 100 내지 89,000 Pa.s, 대안적으로 1,000 내지 85,000 Pa.s, 대안적으로 10,000 내지 80,000 Pa.s, 대안적으로 40,000 내지 75,000 Pa.s, 대안적으로 10,000 내지 40,000 Pa.s 미만, 대안적으로 75,000 초과 내지 100,000 Pa.s일 수 있다. 역학 점도는 이후에 기재되는 역학 점도에 대한 방법에 따라 25°C에서 측정된다. 다이오르가노실록산 화합물은 $^{29}\text{Si-NMR}$ 에 의해 측정될 때 10 중량% 미만, 대안적으로 5 중량% 미만, 대안적으로 2 중량% 미만의 규소-결합된 하이드록실 기를 가질 수 있다. 대안적으로, 다이오르가노실록산 화합물은 $^{29}\text{Si-NMR}$ 에 의해 측정될 때, 10 몰% (mol%) 미만, 대안적으로 5 mol% 미만, 대안적으로 2 mol% 미만의 규소-결합된 하이드록실 기를 가질 수 있다.
- [0055] 성분 (A) (예를 들어, 다이오르가노실록산 화합물)는 경화성 실리콘 조성물의 1 내지 39 중량%, 대안적으로 3 내지 30 중량%, 대안적으로 4 내지 20 중량%일 수 있다. 대안적으로, 성분 (A)는 하이드록실화-경화성 유기실록산의 50 내지 90 중량%, 대안적으로 60 내지 80 중량%, 대안적으로 70 내지 80 중량%일 수 있다.
- [0056] 유기하이드로젠실리콘 화합물인 성분 (B)는 분자당 하나 이상의 규소-결합된 수소 원자를 갖는다. 유기하이드로젠실리콘 화합물은 단일 유기하이드로젠실리콘 화합물, 또는 복수의 상이한 유기하이드로젠실리콘 화합물일 수 있다. 유기하이드로젠실리콘 화합물은 유기 기 및 분자당 평균 2개 이상, 대안적으로 3개 이상의 규소-결합된 수소 원자를 가질 수 있다. 각각의 유기 기는 독립적으로, 이전에 정의된 R, R^1 , 또는 R^4 기와 동일할 수 있다. 유기하이드로젠실리콘 화합물은 유기하이드로젠실란, 유기하이드로젠실록산, 또는 이들의 조합일 수 있다. 유기하이드로젠실리콘 화합물의 구조는 선형, 분지형, 환형 (예를 들어, 사이클로실란 및 사이클로실록산), 또는 수지성일 수 있다. 사이클로실란 및 사이클로실록산은 3 내지 12개, 대안적으로 3 내지 10개, 대안적으로 3 또는 4개의 규소 원자를 가질 수 있다. 비환형 폴리실란 및 폴리실록산에서, 규소-결합된 수소 원자는 말단 위치, 펜던트 위치 또는 말단 위치와 펜던트 위치 둘 모두에 위치할 수 있다.
- [0057] 성분 (B)의 실시 형태를 언급하면, 유기하이드로젠실란은 모노실란, 다이실란, 트라이실란, 또는 폴리실란 (테트라실란 또는 더 고급의 실란)일 수 있다. 적합한 유기하이드로젠실란의 예로는 다이페닐실란, 2-클로로에틸실란, 비스[(p-다이메틸실릴)페닐]에테르, 1,4-다이메틸다이실릴에탄, 1,3,5-트리스(다이메틸실릴)벤젠, 1,3,5-트라이메틸-1,3,5-트라이실란, 폴리(메틸실릴렌)페닐렌, 및 폴리(메틸실릴렌)메틸렌이 있다.
- [0058] 성분 (B)의 실시 형태를 언급하면, 유기하이드로젠실록산은 다이실록산, 트라이실록산, 또는 폴리실록산 (테트라실록산 또는 더 고급의 실록산)일 수 있다. 유기하이드로젠실록산은 또한 유기하이드로젠폴리실록산 수지로 정의될 수 있으며, 이는 상기 수지가 분자당 하나 이상의 규소-결합된 수소 원자를 포함하는 한 그러하다. 유기하이드로젠폴리실록산 수지는 T 단위, 및/또는 Q 단위가 M 단위, 및/또는 D 단위와 조합된 것을 포함하는 공중합체일 수 있으며, 여기서, T, Q, M 및 D는 상기에 정의된 바와 같다. 예를 들어, 유기하이드로젠폴리실록산 수지는 DT 수지, MT 수지, MDT 수지, DTQ 수지, MTQ 수지, MDTQ 수지, DQ 수지, MQ 수지, DTQ 수지, MTQ 수지, 또는 MDQ 수지일 수 있다. M, D, T 및 Q 단위는 이전에 기재된 것과 동일할 수 있다. 적합한 유기하이드로젠

실록산의 예로는 1,1,3,3- 테트라메틸다이실록산, 1,1,3,3-테트라페닐다이실록산, 페닐트리스(다이메틸실록시) 실란, 1,3,5-트라이메틸사이클로트라이실록산, 트라이메틸실록시-말단화된 폴리(메틸하이드로젠실록산), 트라이메틸실록시-말단화된 폴리(다이메틸실록산/메틸하이드로젠실록산), 다이메틸하이드로젠실록시-말단화된 폴리(메틸하이드로젠실록산), 및 (H,Me)Si 수지가 있다. 따라서, 유기하이드로젠실리콘 화합물은 트라이메틸실록시-말단화된 폴리(다이메틸실록산/메틸하이드로젠실록산)일 수 있다.

[0059] 성분 (B)를 다시 언급하면, 유기하이드로젠실리콘 화합물의 분자량은 1,000 g/mol 미만, 대안적으로 750 g/mol 미만, 대안적으로 500 g/mol 미만일 수 있다. 유기하이드로젠실리콘 화합물은 다이메틸하이드로젠실릴 말단화된 폴리다이메틸실록산; 대안적으로 트리아일킬실릴 말단화된 폴리다이알킬실록산 - 알킬하이드로젠실록산 공중합체; 대안적으로 트라이메틸실릴 말단화된 폴리다이메틸실록산 - 메틸하이드로젠실록산 공중합체; 대안적으로 다이알킬하이드로젠실릴 말단화된 폴리다이알킬실록산 및 트리아일킬실릴 말단화된 폴리다이알킬실록산 - 알킬하이드로젠실록산 공중합체의 혼합물일 수 있다. 다이알킬하이드로젠실릴 말단화된 폴리다이알킬실록산은 다이메틸하이드로젠실릴 말단화된 폴리다이메틸실록산일 수 있다. 트리아일킬실릴 말단화된 폴리다이알킬실록산 - 알킬하이드로젠실록산 공중합체는 트라이메틸실릴 말단화된 폴리다이메틸실록산 - 메틸하이드로젠실록산 공중합체일 수 있다.

[0060] 성분 (B) (예를 들어, 유기하이드로젠실리콘 화합물)는 경화성 실리콘 조성물의 0.1 내지 10 중량%, 대안적으로 0.2 내지 8 중량%, 대안적으로 0.3 내지 5 중량%일 수 있다. 대안적으로, 성분 (B)는 하이드로실릴화-경화성 유기실록산의 1 내지 10 중량%, 대안적으로 2 내지 8 중량%, 대안적으로 3 내지 7 중량%일 수 있다.

[0061] 성분 (A) 및 성분 (B)를 다시 언급하면, 하이드로실릴화-경화성 유기실록산은 불포화 탄소-탄소 결합에 대한 전체 규소-결합된 수소 원자의 몰비가 0.05 내지 100, 대안적으로 0.1 내지 100, 대안적으로 0.05 내지 20, 대안적으로 0.5 내지 15, 대안적으로 1.5 내지 14, 대안적으로 2 내지 7, 대안적으로 6 내지 13일 수 있다. 성분 (A) 및 성분 (B)가 상이한 분자일 때, 하이드로실릴화-경화성 유기실록산은 다이오르가노실록산 화합물의 분자당 불포화 탄소-탄소 결합에 대한 유기하이드로젠실리콘 화합물의 분자당 규소-결합된 수소 원자의 몰비가 0.05 내지 100, 대안적으로 0.1 내지 100, 대안적으로 0.05 내지 20, 대안적으로 0.5 내지 14, 대안적으로 0.5 내지 2, 대안적으로 1.5 내지 5, 대안적으로 5 초과 내지 14일 수 있다. 그러나, 본 발명은 성분 (A) 및 성분 (B)를 포함하는 하이드로실릴화-경화성 유기실록산에 한정되지 않는다.

[0062] 하이드로실릴화 촉매인 성분 (C)는 다이오르가노실록산 화합물과 유기하이드로젠실리콘 화합물 사이의 하이드로실릴화 반응을 가속화하는 데 유용한 임의의 화합물 또는 물질이다. 하이드로실릴화 촉매는 금속; 금속을 함유하는 화합물; 또는 이들의 임의의 조합을 포함할 수 있다. 각각의 금속은 독립적으로 백금, 로듐, 루테튬, 팔라듐, 오스뮴, 또는 이리듐, 또는 이들 중 2가지 이상의 임의의 조합이다. 전형적으로, 금속은 하이드로실릴화 반응에서의 그의 높은 활성을 기반으로 하면, 백금이다. 전형적으로 성분 (C)는 백금 화합물이다. 적합한 백금계 하이드로실릴화 촉매의 예로는 미국 특허 제3,419,593호에서의 염화백금산과 소정의 비닐-함유 유기실록산의 착물, 예를 들어 염화백금산과 1,3-다이에테닐-1,1,3,3-테트라메틸다이실록산의 반응 생성물이 있다. 하이드로실릴화 촉매는 비지지되거나 또는 고체 지지체 (예를 들어, 카본, 실리카, 또는 알루미늄) 상에 배치될 수 있다. 하이드로실릴화 촉매는 경화 전 하이드로실릴화-경화성 유기실록산을 포함하는 경화성 실리콘 조성물의 보관 동안 안정성의 증가를 위하여 열가소성 수지 중에 미세캡슐화될 수 있다. 경화가 요구될 때, 미세캡슐화된 촉매 (예를 들어, 미국 특허 제4,766,176호 및 미국 특허 제5,017,654호 참조)는 열가소성 수지의 대략 용점 또는 연화점으로 가열되고, 이럼으로써 하이드로실릴화 촉매가 성분 (A) 및 성분 (B)에 노출될 수 있다. 하이드로실릴화 촉매는 경화 전 경화성 실리콘 조성물의 보관 동안 안정성의 증가를 위한 광활성화성 촉매 (예를 들어, 백금(II) β- 다이케토네이트 착물, 예를 들어 백금(II) 비스(2,4-펜탄다이오네이트))일 수 있다. 경화가 요구될 때, 광활성화성 촉매는 파장이 150 내지 800 나노미터 (nm)인 자외 방사선에 노출되며, 이럼으로써 상기 촉매를 활성화시켜 성분 (A) 및 성분 (B)가 하이드로실릴화 반응하게 할 수 있다.

[0063] 전형적으로 성분 (C)는 촉매적 유효량으로 이용된다. 하이드로실릴화 촉매의 촉매적 유효량은 다이오르가노실록산 화합물 및 유기하이드로젠실리콘 화합물의 하이드로실릴화를 촉매하여 상기 하이드로실릴화의 속도를 증가 시키기에 충분한 임의의 양이다. 하이드로실릴화-경화성 유기실록산 중의 비지지되고 비캡슐화된 하이드로실릴화 촉매의 적합한 농도는 성분 (A) 내지 성분 (C)의 합해진 중량을 기준으로 0.1 내지 1000 백만분율(part per million; ppm), 대안적으로 1 내지 500 ppm, 대안적으로 3 내지 150 ppm, 대안적으로 1 내지 25 ppm이다. 하이드로실릴화-경화성 유기실록산 중 미세캡슐화된 하이드로실릴화 촉매의 적합한 농도는 성분 (A) 내지 성분 (C)의 합해진 중량을 기준으로 1 내지 20 중량%, 대안적으로 3 내지 17 중량%, 대안적으로 5 내지 15 중량%, 대

안적으로 10 내지 15 중량%이다.

[0064] 선택 성분. 더 일찍 기재된 바와 같이, 본 경화성 실리콘 조성물은 하기의 원래 성분을 포함한다: 탄화수소 비히클, 경화성 유기실록산 조성물, 및 은 입자, Ag-코팅된 코어 입자, 및 탄소 나노튜브의 배합물로 본질적으로 이루어진 전기 전도성 충전제. 일부 실시 형태에서, 경화성 실리콘 조성물 및 ECSA에는 추가 성분이 결합된다. "결여되는"이라는 용어는 무엇인가의 최소 농도 미만을 함유하거나; 대안적으로 무엇인가가 완전히 부재하거나, 무엇인가를 함유하지 않거나 (예를 들어, 0.000 중량%를 함유함) 또는 무엇인가를 포함하지 않음을 의미한다. 그러나, 하이드로실릴화에 의해 경화가능하든지, 축합에 의해 경화가능하든지, 자유 라디칼에 의해 경화가능하든지, 다른 화학 반응(chemistry)에 의해 경화가능하든지 간에, 경화성 실리콘 조성물 및 ECSA는 상기 원래의 성분들과는 별개인 하나 이상의 추가 성분을 추가로 포함하는 것이 바람직할 수 있다. 상기 하나 이상의 추가 성분은 본 발명의 기본적인 그리고 신규한 특성에 영향을 주지 않아서, 예를 들어, 경화성 실리콘 조성물 및 ECSA에 대하여 본 명세서에 기재된 이점들 중 하나 이상이 성취되어야 한다.

[0065] 선택 성분이 유기실록산일 때, 유기실록산은 하나 이상의 유기기를 포함한다. 각각의 유기기는 독립적으로 알킬, 알케닐, 알키닐, 아릴, 또는 유기헤테릴일 수 있다. 유기기는 유기실록산의 규소 원자에 직접적으로 공유 결합된다. 유기기의 알킬 기는 독립적으로 1 내지 6개, 대안적으로 1 내지 3개의 탄소 원자를 가질 수 있으며; 대안적으로 알킬은 메틸, 대안적으로 에틸, 대안적으로 프로필일 수 있다. 유기기의 알케닐 및 알키닐은 독립적으로 2 내지 6개, 대안적으로 2 내지 4개의 탄소 원자를 가질 수 있으며; 대안적으로 알케닐은 비닐, 대안적으로 프로펜-3-일, 대안적으로 부텐-4-일일 수 있으며; 대안적으로 알키닐은 아세틸레닐, 대안적으로 프로핀-3-일, 대안적으로 부틴-4-일일 수 있다. 유기기의 아릴은 페닐, 대안적으로 나프틸일 수 있다. 유기기의 유기헤테릴은 1 내지 5개, 대안적으로 1 내지 3개의 탄소 원자와, O, S, 또는 N; 대안적으로 O 또는 N; 대안적으로 O; 대안적으로 N인 하나 이상의 헤테로원자를 가질 수 있으며; 대안적으로 유기헤테릴은 알킬-0-알킬렌, 대안적으로 다이알킬-N-알킬렌; 대안적으로 메틸-0-에틸렌, 대안적으로 메틸-0-프로필렌일 수 있다.

[0066] 일부 실시 형태에서, 경화성 실리콘 조성물 및 ECSA는 상기 하나 이상의 추가 성분을 추가로 포함한다. 경화성 실리콘 조성물, 또는 경화성 실리콘 조성물 및 이로부터 제조된 ECSA 중에 존재할 때, 상기 하나 이상의 추가 성분의 양은, 경화성 실리콘 조성물이 적어도 원래 성분의 최소 농도를 충족시키지 않거나 또는 ECSA가 본 명세서에 기재된 요변 지수, 체적 저항률, 전체 은 농도 및 다른 기능 및 농도와 같은 그의 제약을 충족시키지 않게 될 만큼 높은 것은 아니다. 경화성 실리콘 조성물 중에 존재할 때, 상기 하나 이상의 추가 성분은 경화성 실리콘 조성물의 총 중량을 기준으로 0.01 내지 15 중량%의 총 농도로 있을 수 있다. 존재할 때, 모든 추가 성분의 총 농도는 0.1 내지 12 중량%, 대안적으로 1 내지 10 중량%이다.

[0067] 본 경화성 실리콘 조성물은 임의의 적합한 방식으로 상기 하나 이상의 추가 성분을 이용하여 제조될 수 있다. 예를 들어, 상기 하나 이상의 추가 성분은 경화성 유기실록산 조성물 또는 이의 다이오르가노실록산 성분과 사전 혼합될 수 있다. 그 후, 상기 생성된 사전 혼합물을 탄화수소 비히클, 경화성 유기실록산 조성물의 임의의 다른 성분, 및 전기 전도성 충전제와 블렌딩하여 경화성 실리콘 조성물의 실시 형태를 제조할 수 있으며, 여기서, 상기 블렌드는 상기 하나 이상의 추가 성분을 추가로 포함한다.

[0068] 전형적으로, 상기 하나 이상의 추가 성분은 접착 촉진제, 더 전형적으로 유기실록산 접착 촉진제를 포함한다. 대안적으로 또는 부가적으로, 상기 하나 이상의 추가 성분은 실리콘 증량제(silicone extender), 유기 가소제, 또는 실리콘 증량제와 유기 가소제의 배합물; 저해제; 소포제; 살생제; 사슬 연장제; 사슬 말단차단제; 에이징 방지 첨가제; 전기 비-전도성 충전제 입자; 산 수용체; 및 바로 앞에 전술한 목록 (즉, 실리콘 증량제로부터 산 수용체까지의 목록)으로부터 선택되는 임의의 2가지 이상의 배합물 중 하나 이상일 수 있다. 대안적으로, 상기 하나 이상의 추가 성분은 접착 촉진제와, 실리콘 증량제로부터 산 수용체까지의 바로 앞에 전술한 목록으로부터 선택되는 임의의 1가지 이상의 배합물일 수 있다. 예를 들어, 접착 촉진제는 실리콘 증량제, 저해제, 전기 비-전도성 충전제 입자, 또는 실리콘 증량제, 저해제, 및 전기 비-전도성 충전제 입자 중 임의의 2가지 이상과 조합되어 사용될 수 있다. 상기 하나 이상의 추가 성분은 접착 촉진제, 대안적으로 실리콘 증량제, 대안적으로 유기 가소제, 대안적으로 실리콘 증량제와 유기 가소제의 배합물, 대안적으로 저해제, 대안적으로 소포제, 대안적으로 살생제, 대안적으로 사슬 연장제, 대안적으로 사슬 말단차단제, 대안적으로 에이징 방지 첨가제, 대안적으로 전기 비-전도성 충전제 입자, 대안적으로 산 수용체, 대안적으로 상기 배합물들 중 어느 하나일 수 있다. 부가적으로, 경화성 실리콘 조성물 및/또는 ECSA 중 선택 성분의 사용 의도에 의해 선택 성분을 명명하는 것이 편리하다. 그러나, 사용 의도는 소위 선택 성분의 화학적 특성을 제한하는 것이 아니며, 소위 선택 성분이 어떻게 경화성 실리콘 조성물의 경화 동안 반응하거나 또는 기능을 하여 ECSA를 제공할 수 있는지를 제한하지 않는다. 예시를 위하여, 소위 접착 촉진제는 경화성 실리콘 조성물 및/또는 ECSA에서 접착 촉진제로서의, 그리고

선택적으로, 사슬 연장제, 가교결합제, 실리콘 증량제, 또는 접착 촉진제와, 사슬 연장제, 가교결합제 및 실리콘 증량제 중 하나 이상의 임의의 조합으로서의 기능을 할 수 있다.

[0069] 본 발명에서 유용한 접착 촉진제는 금속 킬레이트, 규소-기재의 접착 촉진제, 또는 이들 중 임의의 2가지 이상의 배합물을 포함할 수 있다. 상기 배합물은 금속 킬레이트와 하나 이상의 규소-기재의 접착 촉진제의 배합물, 또는 2가지 이상의 상이한 규소-기재의 접착 촉진제의 배합물일 수 있다. 상기 상이한 규소-기재의 접착 촉진제들은 하기 특성들 중 하나 이상이 서로와 상이하다: 구조, 점도, 평균 분자량, 실록산 단위, 및 단위 시퀀스. 또한, 규소-기재의 접착 촉진제는 하기 특성들 중 하나 이상이 경화성 유기실록산 조성물의 다른 규소-기재의 성분 (예를 들어, 하이드로실틸화-경화성 유기실록산의 실시 형태(들)의 성분 (A) 및 성분 (B))과 상이하다: 구조, 점도, 평균 분자량, 실록산 단위, 및 단위 시퀀스. 일부 실시 형태에서 경화성 실리콘 조성물 및 ECSA에는 접착 촉진제가 결합되며; 다른 실시 형태에서, 이들은 접착 촉진제를 추가로 포함한다.

[0070] 금속 킬레이트 접착 촉진제는 납, 주석, 지르코늄, 안티몬, 아연, 크로뮴, 코발트, 니켈, 알루미늄, 갈륨, 게르마늄, 또는 티타늄인 금속을 기재로 할 수 있다. 금속 킬레이트는 금속 양이온 및 음이온성 킬레이팅 리간드, 예를 들어 모노카르복실레이트, 다이카르복실레이트 또는 알콕사이드를 포함할 수 있다. 접착 촉진제는 비-전이 금속 킬레이트, 예를 들어 알루미늄 킬레이트, 예를 들어 알루미늄 아세틸아세토네이트를 포함할 수 있다. 대안적으로, 금속 킬레이트는 전이 금속 킬레이트일 수 있다. 적합한 전이 금속 킬레이트는 티타네이트, 지르코네이트, 예를 들어 지르코늄 아세틸아세토네이트 및 이들의 조합을 포함한다. 금속 킬레이트는 티타늄 킬레이트일 수 있다. 대안적으로, 접착 촉진제는 금속 킬레이트와 알콕시실란의 조합, 예를 들어 글리시독시프로필 트라이메톡시실란과 알루미늄 킬레이트 또는 지르코늄 킬레이트의 조합을 포함할 수 있다. 대안적으로, 금속 킬레이트에는 규소가 결합될 수 있다. 적합한 금속 킬레이트의 예는 미국 특허 제4,680,364호의 컬럼 3, 제65행 내지 컬럼 6, 제59행에 언급되어 있다.

[0071] 전형적으로, 접착 촉진제는 규소-기재의 접착 촉진제이다. 적합한 규소-기재의 접착 촉진제는 하이드로카르빌옥시실란, 알콕시실란과 하이드록시-작용성 폴리오르가노실록산의 조합, 아미노 작용성 실란, 또는 이들의 임의의 2가지 이상의 조합을 포함한다. 하이드로카르빌옥시실란은 알콕시실란일 수 있다.

[0072] 예를 들어, 접착 촉진제는 화학식 $R^{19}_r R^{20}_s Si(OR^{21})_{4-(r+s)}$ 를 갖는 실란을 포함할 수 있으며, 여기서, 각각의 R^{19} 는 독립적으로 3개 이상의 탄소 원자를 갖는 1가 유기 기이고; R^{20} 은 하나 이상의 Si-C-치환체를 함유하며, 상기 치환체는 접착-촉진 기, 예를 들어 아미노, 에폭시, 메르캡토 또는 아크릴레이트 기를 갖고; 각각의 R^{21} 은 독립적으로 포화 탄화수소 기이고; 하첨자 r은 0 내지 2 범위의 값을 갖고; 하첨자 s는 1 또는 2이고; (r+s)의 합은 3 이하이다. R^{21} 의 포화 탄화수소 기는 탄소 원자수 1 내지 4의 알킬 기, 대안적으로 탄소 원자수 1 또는 2의 알킬일 수 있다. R^{21} 은 메틸, 에틸, 프로필, 또는 부틸일 수 있으며; 대안적으로 R^{21} 은 메틸일 수 있다. 대안적으로, 접착 촉진제는 상기 실란의 부분 축합물을 포함할 수 있다. 대안적으로, 접착 촉진제는 알콕시실란과 하이드록시-작용성 폴리오르가노실록산의 조합을 포함할 수 있다.

[0073] 대안적으로, 접착 촉진제는 불포화 또는 에폭시-작용성 화합물을 포함할 수 있다. 접착 촉진제는 불포화 또는 에폭시-작용성 알콕시실란을 포함할 수 있다. 예를 들어, 작용성 알콕시실란은 화학식 $R^{22}_t Si(OR^{23})_{(4-t)}$ 을 가질 수 있으며, 여기서, 하첨자 t는 1, 2, 또는 3이고, 대안적으로 하첨자 t는 1이다. 각각의 R^{22} 는 독립적으로 1가 유기 기이되, 단, 하나 이상의 R^{22} 는 불포화 유기 기 또는 에폭시-작용성 유기 기이다. R^{22} 의 에폭시-작용성 유기 기는 3-글리시독시프로필 및 (에폭시사이클로헥실)에틸에 의해 예시된다. R^{22} 의 불포화 유기 기는 3-메타크릴로일옥시프로필, 3-아크릴로일옥시프로필, 및 불포화 1가 탄화수소 기, 예를 들어 비닐, 알릴, 헥센일, 운데실렌일에 의해 예시된다. 각각의 R^{23} 은 독립적으로 탄소 원자수 1 내지 4, 대안적으로 탄소 원자수 1 내지 2의 포화 탄화수소 기이다. R^{23} 은 메틸, 에틸, 프로필, 및 부틸에 의해 예시된다.

[0074] 적합한 에폭시-작용성 알콕시실란계 접착 촉진제의 예에는 3-글리시독시프로필트라이메톡시실란, 3-글리시독시프로필트라이에톡시실란, (에폭시사이클로헥실)에틸다이메톡시실란, (에폭시사이클로헥실)에틸다이에톡시실란 및 이들의 조합이 포함된다. 적합한 불포화 알콕시실란의 예에는 비닐트라이메톡시실란, 알릴트라이메톡시실란, 알릴트라이에톡시실란, 헥센일트라이메톡시실란, 운데실렌일트라이메톡시실란, 3-메타크릴로일옥시프로필 트라이메톡시실란, 3-아크릴로일옥시프로필 트

라이메톡시실란, 3-아크릴로일옥시프로필 트라이메톡시실란, 및 그 조합이 포함된다.

[0075]

대안적으로, 접착 촉진제는 에폭시-작용성 유기실록산, 예를 들어, 상기에 기재된 바와 같은, 하이드록시-말단화된 폴리오르가노실록산과 에폭시-작용성 알콕시실란의 반응 생성물, 또는 하이드록시-말단화된 폴리오르가노실록산과 에폭시-작용성 알콕시실란의 물리적 블렌드를 포함할 수 있다. 에폭시-작용성 유기실록산은 하나 이상의, 대안적으로 2개 이상의 에폭시 기 및 하나 이상의 유형의 유기기, 예를 들어 알킬, 알케닐, 알키닐, 아릴, 또는 유기헤테릴을 포함한다. 에폭시 기(들)는 독립적으로, 에폭시-작용성 유기실록산의 유기실록사닐 부분의 규소 원자 또는 상기 유기기의 임의의 탄소 원자에 직접적으로 공유 결합될 수 있다. 에폭시 기(들)는 유기실록사닐 부분의 내부 위치, 말단 위치, 또는 이들 둘 모두의 위치에 위치할 수 있다. 에폭시-작용성 유기실록산은 에폭시-작용성 디오르가노실록산, 에폭시-작용성 오르가노, 하이드로젠실록산; 또는 에폭시-작용성 디오르가노/(오르가노, 하이드로젠)실록산일 수 있다. "디오르가노/(오르가노, 하이드로젠)"은 실록산이 유기실록사닐 부분 중에 디오르가노Si D 단위 ("D") 및 오르가노-SiH D 단위 (D^H) 둘 모두를 가짐을 나타낸다. 그러한 디오르가노Si D 단위들 중 어느 하나 내의 유기기들은 서로와 동일하거나 또는 서로와 상이할 수 있다. 예를 들어, 에폭시-작용성 디오르가노실록산은 비스(알파, 오메가-글리시독시알킬)-다이알킬/(알킬, 알케닐)실록산일 수 있다. "다이알킬/(알킬, 알케닐)"은 실록산이 다이알킬Si D 단위와 알킬, 알케닐Si D 단위 둘 모두를 가짐을 나타낸다. "비스(알파, 오메가-글리시독시알킬)"은 다이알킬/알킬, 알케닐실록사닐 모이어티가 2개의 말단 글리시독시알킬 기, 및 0개의 또는 선택적으로 1개 이상의 내부 글리시독시알킬 기를 가짐을 나타낸다. 대안적으로, 접착 촉진제는 에폭시-작용성 알콕시실란과 에폭시-작용성 실록산의 조합을 포함할 수 있다. 예를 들어, 접착 촉진제는 하이드록시-말단화된 메틸비닐실록산 (즉, 하이드록시-말단화된 폴리(메틸, 비닐)실록산)과 3-글리시독시프로필트라이메톡시실란과의 반응 생성물과 3-글리시독시프로필트라이메톡시실란의 혼합물, 또는 3-글리시독시프로필트라이메톡시실란과 하이드록시-말단화된 메틸비닐실록산의 혼합물, 또는 3-글리시독시프로필트라이메톡시실란과 하이드록시-말단화된 메틸비닐/다이메틸실록산 공중합체의 혼합물에 의해 예시된다.

[0076]

대안적으로, 접착 촉진제는 에폭시-작용성 유기사이클로실록산을 포함할 수 있다. 에폭시-작용성 유기사이클로실록산은 하나 이상의, 대안적으로 2개 이상의 에폭시 기 및 하나 이상의 유형의 유기기, 예를 들어 알킬, 알케닐, 알키닐, 아릴, 또는 유기헤테릴을 포함한다. 예를 들어, 에폭시-작용성 유기사이클로실록산은 에폭시-작용성 D3 내지 D6 디오르가노사이클로실록산; 에폭시-작용성 D3 내지 D6 오르가노, 하이드로젠사이클로실록산; 또는 에폭시-작용성 D3 내지 D6 디오르가노/(오르가노, 하이드로젠)사이클로실록산일 수 있다. D3은 유기사이클로트라이실록산이며; D4는 유기사이클로테트라실록산이며; D5는 유기사이클로펜타실록산이며; D6은 유기사이클로헥사실록산이다. 에폭시-작용성 유기사이클로실록산은 하나 이상의, 대안적으로 2개 이상의 유기사이클로실록사닐 모이어티를 가질 수 있으며, 여기서, 임의의 2개의 유기사이클로실록사닐 모이어티는 알킬렌-디오르가노실록사닐렌-알킬렌 사슬을 통하여 서로에게 연결될 수 있다. 예를 들어, 에폭시-작용성 D3 내지 D6 오르가노, 하이드로젠사이클로실록산은 비스(알파, 오메가-글리시독시알킬-D3 내지 D6 오르가노, 하이드로젠사이클로실록산)일 수 있으며, 여기서, 2개 이상의 글리시독시알킬 모이어티가 있으며; 2개 이상의 오르가노, 하이드로젠사이클로실록사닐 모이어티가 있는데, 이들은 서로와 동일하거나 또는 서로와 상이할 수 있으며; 임의의 2개의 오르가노, 하이드로젠사이클로실록사닐 모이어티는 독립적으로 알킬렌-디오르가노실록사닐렌-알킬렌 사슬을 통하여 서로에게 연결된다. 각각의 사슬은 서로와 동일하거나 또는 서로와 상이할 수 있으며, 선형 또는 분지형일 수 있으며, 3 내지 100개, 대안적으로 5 내지 90개, 대안적으로 8 내지 50개의 원자의 골격을 가질 수 있으며, 여기서, 골격 원자는 C, Si, 및 O이다. 에폭시 기(들)는 독립적으로, 유기사이클로실록사닐 모이어티의 규소 원자에 직접적으로 공유 결합되거나, 또는 2개 이상의 유기사이클로실록사닐 모이어티가 있을 때에는 알킬렌-디오르가노실록사닐렌-알킬렌 사슬의 규소 원자에 직접적으로 공유 결합될 수 있거나; 또는 에폭시 기(들)는 이의 임의의 유기기의 임의의 탄소 원자에 직접적으로 공유 결합될 수 있다. 임의의 D 단위 중 기는 서로와 동일하거나 또는 서로와 상이할 수 있다.

[0077]

대안적으로, 접착 촉진제는 아미노 작용성 실란, 예를 들어 $H_2N(CH_2)_2Si(OCH_3)_3$, $H_2N(CH_2)_2Si(OCH_2CH_3)_3$, $H_2N(CH_2)_3Si(OCH_3)_3$, $H_2N(CH_2)_3Si(OCH_2CH_3)_3$, $CH_3NH(CH_2)_3Si(OCH_3)_3$, $CH_3NH(CH_2)_3Si(OCH_2CH_3)_3$, $CH_3NH(CH_2)_5Si(OCH_3)_3$, $CH_3NH(CH_2)_5Si(OCH_2CH_3)_3$, $H_2N(CH_2)_2NH(CH_2)_3Si(OCH_3)_3$, $H_2N(CH_2)_2NH(CH_2)_3Si(OCH_2CH_3)_3$, $CH_3NH(CH_2)_2NH(CH_2)_3Si(OCH_3)_3$, $CH_3NH(CH_2)_2NH(CH_2)_3Si(OCH_2CH_3)_3$, $C_4H_9NH(CH_2)_2NH(CH_2)_3Si(OCH_3)_3$, $C_4H_9NH(CH_2)_2NH(CH_2)_3Si(OCH_2CH_3)_3$, $H_2N(CH_2)_2SiCH_3(OCH_3)_2$, $H_2N(CH_2)_2SiCH_3(OCH_2CH_3)_2$, $H_2N(CH_2)_3SiCH_3(OCH_3)_2$, $H_2N(CH_2)_3SiCH_3(OCH_2CH_3)_2$, $CH_3NH(CH_2)_3SiCH_3(OCH_3)_2$, $CH_3NH(CH_2)_3SiCH_3(OCH_2CH_3)_2$, $CH_3NH(CH_2)_5SiCH_3(OCH_3)_2$, $CH_3NH(CH_2)_5SiCH_3(OCH_2CH_3)_2$.

$\text{CH}_3\text{NH}(\text{CH}_2)_5\text{SiCH}_3(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$, $\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_2\text{NH}(\text{CH}_2)_3\text{SiCH}_3(\text{OCH}_3)_2$, $\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_2\text{NH}(\text{CH}_2)_3\text{SiCH}_3(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$,
 $\text{CH}_3\text{NH}(\text{CH}_2)_2\text{NH}(\text{CH}_2)_3\text{SiCH}_3(\text{OCH}_3)_2$, $\text{CH}_3\text{NH}(\text{CH}_2)_2\text{NH}(\text{CH}_2)_3\text{SiCH}_3(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$, $\text{C}_4\text{H}_9\text{NH}(\text{CH}_2)_2\text{NH}(\text{CH}_2)_3\text{SiCH}_3(\text{OCH}_3)_2$,
 $\text{C}_4\text{H}_9\text{NH}(\text{CH}_2)_2\text{NH}(\text{CH}_2)_3\text{SiCH}_3(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$, 및 이들의 조합에 의해 예시되는 아미노 작용성 알콕시실란을 포함할 수 있다.

[0078] 존재할 때, 접착 촉진제의 농도는 0.1 내지 10 중량%, 대안적으로 0.5 내지 7 중량%, 대안적으로 0.7 내지 5 중량%일 수 있으며, 이들 전부는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 한다. 대안적으로, 존재할 때, 접착 촉진제의 농도는 1 내지 10 중량%, 대안적으로 2 내지 9 중량%, 대안적으로 3 내지 8 중량%일 수 있으며, 이들 전부는 경화성 유기실록산 조성물의 중량을 기준으로 한다.

[0079] 실리콘 증량제는 비치환 하이드로카르빌-함유 MD 유기실록산, 예를 들어 비스(트라이하이드로카르빌-말단화된) 다이하이드로카르빌유기실록산일 수 있으며, 여기서, 각각의 하이드로카르빌은 독립적으로 비치환 ($\text{C}_1\text{-C}_{10}$)알킬 (예를 들어, 메틸), ($\text{C}_2\text{-C}_{10}$)알케닐, ($\text{C}_2\text{-C}_{10}$)알키닐, 벤질, 페네틸, 페닐, 톨릴, 또는 나프틸이다. 실리콘 증량제의 예로는 폴리다이메틸실록산이 있으며, 이는 미국 미시간주 미들랜드 소재의 다우 코닝 코포레이션(Dow Corning Corporation)의 다우 코닝(등록상표) 200 유체를 포함한다. 이러한 유체는 동점도가 50 내지 100,000 센티스토크 (cSt; 50 내지 100,000 제곱밀리미터/초(mm^2/s)), 대안적으로 50 내지 50,000 cSt (50 내지 50,000 mm^2/s), 그리고 대안적으로 12,500 내지 60,000 cSt (12,500 내지 60,000 mm^2/s)의 범위일 수 있다. 동점도는 이후에 기재되는 방법에 따라 측정된다. 일부 실시 형태에서 경화성 실리콘 조성물 및 ECSA에는 실리콘 증량제가 결합되며; 다른 실시 형태에서, 이들은 실리콘 증량제를 추가로 포함한다. 존재할 때, 실리콘 증량제의 농도는 0.1 내지 10 중량%, 대안적으로 0.5 내지 5 중량%, 대안적으로 1 내지 5 중량%일 수 있으며, 이들 전부는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 한다.

[0080] 유기 가소제는 실리콘 증량제 대신에, 또는 실리콘 증량제에 더하여 사용될 수 있다. 유기 가소제가 탄화수소 비히클에 더하여 경화성 실리콘 조성물 중에 사용될 수 있다. 유기 가소제는 카르복실산 에스테르, 예를 들어 비스($(\text{C}_1\text{-C}_{10})$ 알킬) 프탈레이트, 비스($(\text{C}_1\text{-C}_{10})$ 알킬) 테레프탈레이트, 비스($(\text{C}_1\text{-C}_{10})$ 알킬) 사이클로헥산다이카르복실레이트, 또는 비스($(\text{C}_1\text{-C}_{10})$ 알킬) 아디페이트 에스테르, 또는 이들의 조합일 수 있다. 일부 실시 형태에서, 경화성 실리콘 조성물 및 ECSA에는 유기 가소제가 결합되며; 다른 실시 형태에서 이들은 유기 가소제를 추가로 포함한다. 존재할 때, 유기 가소제의 농도는 0.1 내지 10 중량%, 대안적으로 0.5 내지 5 중량%, 대안적으로 1 내지 5 중량%일 수 있으며, 이들 전부는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 한다.

[0081] 실리콘 증량제와 유기 가소제의 배합물. 실리콘 증량제와 유기 가소제의 배합물은 바로 앞에 전술한 카르복실산 에스테르들 중 하나 및 폴리다이메틸실록산 유체를 포함할 수 있다. 일부 실시 형태에서, 경화성 실리콘 조성물 및 ECSA에는 실리콘 증량제와 유기 가소제의 배합물이 결합되며; 다른 실시 형태에서, 이들은 상기 배합물을 추가로 포함한다. 존재할 때, 상기 배합물의 농도는 0.1 내지 10 중량%, 대안적으로 0.5 내지 5 중량%, 대안적으로 1 내지 5 중량%일 수 있으며, 이들 전부는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 한다.

[0082] 저해제는, 저해제가 제외된 것 이외에는 동일한 조성의 것에 비하여 하이드로실릴화-경화성 유기실록산의 하이드로실릴화 반응의 개시를 지연시키거나, 상기 하이드로실릴화 반응을 저해하거나, 상기 하이드로실릴화 반응의 반응 속도를 늦추거나, 또는 상기 하이드로실릴화 반응의 시작을 방지하는 데 사용될 수 있다. 적합한 하이드로실릴화 반응 저해제의 예로는 아세틸렌 알코올, 실릴화 아세틸렌 화합물, 사이클로알케닐실록산, 엔-인 화합물, 포스핀, 메르캡탄, 하이드라진, 아민, 푸마레이트 다이에스테르 및 말레이트 다이에스테르가 있으며, 아세틸렌 알코올의 예로는 1-프로판-3-올; 1-부탄-3-올; 2-메틸-3-부탄-2-올; 3-메틸-1-부탄-3-올; 3-메틸-1-펜탄-3-올; 4-에틸-1-옥탄-3-올; 1-에티닐-1-사이클로헥산올; 3,5-다이메틸-1-헥신-3-올; 4-에틸-1-옥탄-3-올; 1-에티닐-1-사이클로헥산올; 3-페닐-1-부탄-3-올; 및 2-페닐-3-부탄-2-올이 있다. 예를 들어, 저해제는 1-에티닐-1-사이클로헥산올일 수 있다. 사이클로알케닐실록산의 예로는 메틸비닐사이클로실록산, 예를 들어, 1,3,5,7-테트라메틸-1,3,5,7-테트라비닐사이클로테트라실록산 및 1,3,5,7-테트라메틸-1,3,5,7-테트라헥세닐사이클로테트라실록산이 있다. 엔-인 화합물의 예로는 3-메틸-3-펜텐-1-인 및 3,5-다이메틸-3-헥센-1-인이 있다. 포스핀의 예로는 트라이페닐포스핀이 있다. 푸마레이트 다이에스테르의 예로는 다이알킬 푸마레이트, 다이알케닐 푸마레이트 (예를 들어, 다이알릴 푸마레이트), 및 다이알콕시알킬 푸마레이트가 있다. 말레이트 다이에스테르의 예로는 다이알킬 말레이트 및 다이알릴 말레이트가 있다. 실릴화 아세틸렌 화합물의 예로는 (3-메틸-1-부탄-3-옥시)트라이메틸실란, ((1,1-다이메틸-2-프로피닐)옥시)트라이메틸실란, 비스(3-메틸-1-부탄-3-옥시)다이메틸실란, 비스(3-메틸-1-부탄-3-옥시)실란메틸비닐실란, 비스((1,1-다이메틸-2-프로피닐)옥시)다이메틸실란,

메틸(트리스(1,1-다이메틸-2-프로피닐옥시))실란, 메틸(트리스(3-메틸-1-부틴-3-옥시))실란, (3-메틸-1-부틴-3-옥시)다이메틸페닐실란, (3-메틸-1-부틴-3-옥시)다이메틸헥세닐실란, (3-메틸-1-부틴-3-옥시)트라이에틸실란, 비스(3-메틸-1-부틴-3-옥시)메틸트라이플루오로프로필실란, (3,5-다이메틸-1-헥신-3-옥시)트라이메틸실란, (3-페닐-1-부틴-3-옥시)다이페닐메틸실란, (3-페닐-1-부틴-3-옥시)다이메틸페닐실란, (3-페닐-1-부틴-3-옥시)다이메틸비닐실란, (3-페닐-1-부틴-3-옥시)다이메틸헥세닐실란, (사이클로헥실-1-에틴-1-옥시)다이메틸헥세닐실란, (사이클로헥실-1-에틴-1-옥시)다이메틸비닐실란, (사이클로헥실-1-에틴-1-옥시)다이페닐메틸실란, 및 (사이클로헥실-1-에틴-1-옥시)트라이메틸실란이 있다. 저해제는 메틸(트리스(1,1-다이메틸-2-프로피닐옥시))실란 또는 ((1,1-다이메틸-2-프로피닐)옥시)트라이메틸실란일 수 있다. 저해제는 단일 구조 부류 내에서 취해지거나 또는 2가지 이상의 상이한 구조 부류로부터 취해지는, 전술한 예들 중 임의의 2가지 이상의 조합일 수 있다. 일부 실시 형태에서, 경화성 실리콘 조성물 및 ECSA에는 저해제가 결합되며; 다른 실시 형태에서, 이들은 저해제를 추가로 포함한다. 존재할 때, 저해제의 농도는 0.1 내지 5 중량%, 대안적으로 0.5 내지 2 중량%일 수 있으며, 이들 전부는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 한다.

[0083] 소포제는 경화성 실리콘 조성물 또는 경화성 유기실록산 조성물의 형성 동안 발포를 저해하거나 또는 방지하는 데 사용될 수 있다. 적합한 소포제의 예에는 실리콘-무함유 소포제, 예를 들어 미국 코네티컷주 윌링퍼드 소재의 비와이케이 유에스에이(BYK USA)로부터 구매가능한 것이 포함된다. 예로는 BYK-052가 있으며, 이는 스토다드 솔벤트(Stoddard Solvent) (미네랄 스피릿(mineral spirit)), 30 내지 60 중량%, 나프타, 수소탈황화된 중질 석유(petroleum hydrosulfurized heavy) 30 내지 60 중량%, 하이드록시 아세트산 부틸 에스테르 5 내지 10 중량%, 및 2-부톡시에탄올 1 내지 5 중량%를 함유하는 블렌드이다. 일부 실시 형태에서, 경화성 실리콘 조성물 및 ECSA에는 소포제가 결합되며; 다른 실시 형태에서, 이들은 소포제를 추가로 포함한다. 존재할 때, 소포제의 농도는 0.1 내지 10 중량%, 대안적으로 0.5 내지 5 중량%일 수 있으며, 이들 전부는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 한다.

[0084] 살생제는 향미생물 화합물, 향균 화합물, 항바이러스 화합물, 살진균제, 제초제 또는 살충제일 수 있다. 살생제는 경화성 실리콘 조성물 또는 경화성 유기실록산 조성물의 오염 또는 분해를 이의 제조, 보관, 수송 또는 적용 동안 저해하고/하거나; ECSA의 오염 또는 분해를 경화 및/또는 전기 구성요소에서의 사용 동안 저해하는 데 사용될 수 있다. 일부 실시 형태에서, 경화성 실리콘 조성물 및 ECSA에는 살생제가 결합되며; 다른 실시 형태에서, 이들은 살생제를 추가로 포함한다. 존재할 때, 살생제의 농도는 0.1 내지 5 중량%, 대안적으로 0.5 내지 1 중량%일 수 있으며, 이들 전부는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 한다.

[0085] 사슬 연장제는 성분 (A), 성분 (B), 또는 성분 (A) 및 성분 (B)의 사슬의 길이를, 경화성 실리콘 조성물의 경화 동안 임의의 커플링 또는 가교결합이 일어나기 전에 연장시키는 데 사용될 수 있다. 적합한 사슬 연장제의 예로는 2작용성 실란 (예를 들어, 1,1,2,2-테트라메틸다이실란) 및 2작용성 실록산 (예를 들어, 중합도(Degree of polymerization; DP)가 3 내지 50, 예를 들어, 3 내지 10인 다이메틸하이드로젠-말단화된 폴리다이메틸실록산)이 있다. 일부 실시 형태에서 경화성 실리콘 조성물 및 ECSA에는 사슬 연장제가 결합되며; 다른 실시 형태에서 이들은 사슬 연장제를 추가로 포함한다. 존재할 때, 사슬 연장제의 농도는 0.1 내지 10 중량%, 대안적으로 0.5 내지 5 중량%일 수 있으며, 이들 전부는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 한다.

[0086] 사슬 말단차단제는 경화성 실리콘 조성물의 경화 동안 사슬을 말단화하고 추가의 연장 또는 가교결합을 방지하는 데 사용될 수 있다. 사슬 말단차단제는 비치환 하이드로카르빌-함유 실록산 M 단위일 수 있으며, 여기서, 하이드로카르빌은 독립적으로 실리콘 중량제의 하이드로카르빌에 대하여 기재된 바와 같다. 적합한 사슬 말단차단제의 예로는 하나 이상의 트라이메틸실록시 기를 갖는 유기실록산이 있다. 일부 실시 형태에서 경화성 실리콘 조성물 및 ECSA에는 사슬 말단차단제가 결합되며; 다른 실시 형태에서 이들은 사슬 말단차단제를 추가로 포함한다. 존재할 때, 사슬 말단차단제의 농도는 0.1 내지 10 중량%, 대안적으로 0.5 내지 5 중량%일 수 있으며, 이들 전부는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 한다.

[0087] 에이징 방지 첨가제는 분해 촉진 조건(들)에 노출될 때 경화성 실리콘 조성물 및/또는 ECSA의 분해의 개시를 지연시키거나, 상기 분해를 저해하거나, 상기 분해의 속도를 감소시키거나, 또는 상기 분해를 방지하는 데 사용될 수 있다. 분해 촉진 조건의 예로는 산화제, 자외광, 열, 수분, 또는 이들의 임의의 2가지 이상의 조합에의 노출이 있다. 적합한 에이징 방지 첨가제의 예로는 산화방지제, UV 흡수제, UV 안정제, 열 안정제, 건조제 및 이들의 조합이 있다. 적합한 산화방지제는 입체 장애 페놀 (예를 들어, 비타민 E)을 포함한다. 적합한 UV 흡수제/안정제는 페놀을 포함한다. 적합한 열 안정제는 산화철 및 카본 블랙(carbon black)을 포함한다. 적합한 수분 안정제는 무수 형태의 실리카, 산화마그네슘 및 산화칼슘을 포함한다. 일부 실시 형태에서, 경화성 실리콘 조성물 및 ECSA에는 에이징 방지 첨가제가 결합되며; 다른 실시 형태에서, 이들은 에이징 방지 첨가제를 추

가로 포함한다. 존재할 때, 에이징 방지 첨가제의 농도는 0.01 내지 5 중량%, 대안적으로 0.1 내지 2 중량%일 수 있으며, 이들 전부는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 한다.

[0088] 전기 비-전도성 충전제 입자는 실리카 유리, 예를 들어 소다-석회-실리카 유리 또는 붕규산 유리, 탄소의 다이아몬드 다형체, 실리카, 유기 중합체 또는 세라믹의 입자일 수 있다. 전기 비-전도성 충전제 입자에는 은의 코팅이 결여되어 있는 반면에 Ag-코팅된 코어 입자는 은의 코팅을 갖는다는 점에서 전기 비-전도성 충전제 입자는 Ag-코팅된 코어 입자와는 별개이다. 전기 비-전도성 충전제 입자는 전술한 전기 전도성 충전제와는 별개이다. 실리카 유리 입자는 중실 또는 중공일 수 있다. 전기 비-전도성 충전제 입자는 직육면체형, 플레이크형, 과립형, 불규칙형, 침형, 분말형, 구형, 또는 직육면체형, 플레이크형, 과립형, 불규칙형, 침형, 분말형 및 구형의 임의의 2가지 이상의 형상의 조합일 수 있다. 전기 비-전도성 충전제 입자의 평균 입자 크기는 5 내지 100 μm 일 수 있다. 전기 비-전도성 충전제 입자는, 본 ECSA의 체적 저항률이 더 작은 크기를 갖는 동일 농도의 전기 비-전도성 충전제 입자를 갖는 비교용 ECSA의 것보다 더 낮도록, ECSA에서의 은 충전제의 패키징을 향상시키기에 (즉, 증가시키기에) 충분한 크기를 가질 수 있다. 그러한 충분한 크기는 은 충전제의 평균 입자 직경보다 더 큰 전기 비-전도성 충전제 입자의 평균 입자 직경일 수 있다. 구형 실리카 유리 충전제 입자는 생성된 ECSA의 체적 저항률을 구형 실리카 유리 충전제 입자가 결여된 것을 제외하고는 동일한 경화성 실리콘 조성물로부터 제조된 ECSA의 체적 저항률에 비하여 유익하게 강화할 (즉, 감소시킬) 수 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 구형 실리카 유리 충전제 입자는 경화성 실리콘 조성물, ECSA, 또는 이들 둘 모두의 본드라인(bondline)의 두께 균일성의 유지를 유익하게 도울 수 있으며, 여기서, 본드라인은 기재, 예를 들어 전기 구성요소용 기재 상에 배치되었고, 생성된 구성요소는 주위 온도보다 높은 온도, 주위 압력보다 높은 압력, 또는 이들 둘 모두 (예를 들어, 라미네이팅 단계 동안과 같이)를 경험한다. 대안적으로 또는 부가적으로, 구형 실리카 유리 충전제 입자는 산화되기 쉬운 기재의 외부 표면 상에 또는 은 입자, Ag-코팅된 코어 입자, 또는 이들의 임의의 조합의 표면 상에 형성되었을 수 있는 금속 산화물 층 (예를 들어, 산화구리 층)을 유익하게 침투하거나 또는 기계적으로 마모시킬 수 있다. 산화되기 쉬운 기재의 예로는 구리 포일 또는 구리선이 있는데, 상기 구리의 표면 층은 공기 중에서 자발적으로 산화되어 산화구리 층을 형성할 수 있다. 존재할 때, 전기 비-전도성 충전제 입자의 농도는 0.1 내지 10 중량%, 대안적으로 0.5 내지 8 중량%일 수 있으며, 이들 전부는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 한다.

[0089] 산 수용체는 산-촉진된 반응, 부반응 또는 분해의 개시를 지연시키거나, 이를 저해하거나 또는 방지하는 데 사용될 수 있다. 적합한 산 수용체는 산화마그네슘 및 산화칼슘을 포함한다. 일부 실시 형태에서, 경화성 실리콘 조성물 및 ECSA에는 산 수용체가 결여되며; 다른 실시 형태에서, 이들은 산 수용체를 추가로 포함한다. 존재할 때, 산 수용체의 농도는 0.1 내지 5 중량%, 대안적으로 0.5 내지 2 중량%일 수 있으며, 이들 전부는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 한다.

[0090] 일부 실시 형태에서, 경화성 실리콘 조성물은 하기 성분들, 즉 (C₁₂-C₁₆)아이소알칸 중 3가지 이상을 포함하는 아이소알칸 혼합물로서, 210°C 초과의 초기 비점 및 270°C 미만의 최종 비점을 가지며, 상기 탄화수소 비히클은 상기 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 6 내지 11 중량%의 농도로 존재하는, 상기 아이소알칸 혼합물; 분자당 평균 1개 이상의 비닐 모이어티를 갖는 하나 이상의 비닐-작용성 폴리다이메틸실록산 화합물, 분자당 평균 1.1개 이상의 Si-H 모이어티를 갖는 하나 이상의 트라이메틸실록시-말단화된 다이메틸 메틸하이드로젠실리콘 화합물, 미세캡슐화된 백금 하이드로실릴화 촉매, 비스(알파,오메가-글리시독시알킬-D3 내지 D6 알킬, 하이드로젠사이클로실록산), 및 비스(알파,오메가-글리시독시알킬)-다이알킬/(알킬,알케닐)실록산 접착 촉진제를 포함하는 하이드로실릴화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물로서, 상기 비닐-작용성 폴리다이메틸실록산 화합물은 상기 하이드로실릴화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물의 70 내지 78 중량%이며; 상기 트라이메틸실록시-말단화된 다이메틸 메틸하이드로젠실리콘 화합물은 상기 하이드로실릴화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물의 1 내지 8 중량%이고; 상기 미세캡슐화된 하이드로실릴화 촉매는 상기 하이드로실릴화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물의 10 내지 15 중량%이며; 상기 비스(알파,오메가-글리시독시알킬-D3 내지 D6 알킬, 하이드로젠사이클로실록산)은 상기 하이드로실릴화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물의 0 내지 7 중량%이고, 상기 비스(알파,오메가-글리시독시알킬)-다이알킬/(알킬,알케닐)실록산 접착 촉진제는 상기 하이드로실릴화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물의 0 내지 10 중량%이며; 상기 트라이메틸실록시-말단화된 다이메틸 메틸하이드로젠실리콘 화합물, 상기 미세캡슐화된 하이드로실릴화 촉매, 상기 비스(알파,오메가-글리시독시알킬-D3 내지 D6 알킬, 하이드로젠사이클로실록산), 및 상기 비스(알파,오메가-글리시독시알킬)-다이알킬/(알킬,알케닐)실록산 접착 촉진제는 함께 상기 하이드로실릴화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물의 20 내지 30 중량%인, 상기 하이드로실릴화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물; 및 은 입자, 은-코팅된 니켈 입자 및 다중벽 탄소 나노튜브

의 배합물로 본질적으로 이루어진 전기 전도성 충전제로서, 상기 은 입자는 은 플레이크이며, 전부 상기 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로, 은 플레이크의 농도는 40 내지 51 중량%이고, 은-코팅된 니켈 입자의 농도는 17 내지 32 중량%이며, 은의 총 농도는 54.0 내지 59.0 중량%이고; 상기 은-코팅된 니켈 입자 중 은의 농도는 상기 은-코팅된 니켈 입자의 중량을 기준으로 28 내지 42 중량%이며; 상기 다중벽 탄소 나노튜브는 상기 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 0.3 내지 2.2 중량%, 대안적으로 0.7 내지 2.2 중량%의 농도로 존재하는, 상기 전기 전도성 충전제의 블렌드를 포함하는 경화성 실리콘 조성물이고; 여기서, 상기 경화성 실리콘 조성물은 이후에 설명되는 TI 시험 방법에 따라 측정된 요변 지수 (n_{11}/n_{10})가 3 내지 7인 것을 특징으로 하며; 상기 경화성 실리콘 조성물은 체적 저항률 시험 방법에 따라 측정된 체적 저항률이 0.00070 옴-센티미터 미만인 것을 특징으로 한다. 대안적으로, 상기 비닐-작용성 폴리다이메틸실록산 화합물은 상기 하이드로실틸화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물의 70 내지 75 중량%일 수 있으며; 상기 트라이메틸실록시-말단화된 다이메틸 메틸하이드로젠실리코 화합물은 상기 하이드로실틸화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물의 1 내지 5 중량%일 수 있고; 상기 미세캡슐화된 하이드로실틸화 촉매는 상기 하이드로실틸화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물의 10 내지 15 중량%일 수 있으며; 상기 비스(알파,오메가-글리시독시알킬-D3 내지 D6 알킬,하이드로젠사이클로실록산)은 상기 하이드로실틸화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물의 0 내지 7 중량% (예를 들어, 0 중량%), 대안적으로 0.1 내지 7 중량%일 수 있고, 상기 비스(알파,오메가-글리시독시알킬)-다이알킬/(알킬,알케닐)실록산 접착 촉진제는 상기 하이드로실틸화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물의 0.1 내지 10 중량%, 대안적으로 1 내지 10 중량%일 수 있다. 하이드로실틸화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물은, 경화성 실리콘 조성물의 제조에 이를 사용하기 전에는, 탄화수소 비히클, 은 입자, 및 은-코팅된 코어 입자가 결여될 수 있다. 하이드로실틸화-경화성 폴리다이메틸실록산 조성물을 이용하여 제조된 경화성 실리콘 조성물의 중량%의 면에서의 상기 성분들의 농도에 관하여, 비닐-작용성 폴리다이메틸실록산 화합물은 경화성 실리콘 조성물의 16 내지 18 중량% (예를 들어, 17 중량%)일 수 있으며, 트라이메틸실록시-말단화된 다이메틸 메틸하이드로젠실리코 화합물은 경화성 실리콘 조성물의 0.1 내지 2 중량% (예를 들어, 1 중량%)일 수 있고, 미세캡슐화된 하이드로실틸화 촉매는 경화성 실리콘 조성물의 2 내지 5 중량% (예를 들어, 3 중량%)일 수 있으며, 비스(알파,오메가-글리시독시알킬)-다이알킬/(알킬,알케닐)실록산 접착 촉진제는 경화성 실리콘 조성물의 1 내지 4 중량% (예를 들어, 2 중량%)일 수 있고, 다중벽 탄소 나노튜브는 경화성 실리콘 조성물의 0.7 내지 2.2 중량% (예를 들어, 1 중량%)의 농도로 존재할 수 있다. 경화성 실리콘 조성물의 그러한 실시 형태에서, 탄화수소 비히클의 농도는 경화성 실리콘 조성물의 6 내지 11 중량%일 수 있으며, 은 입자는 은 플레이크일 수 있고, 경화성 실리콘 조성물의 49 내지 51 중량%의 농도로 존재할 수 있으며, 은-코팅된 니켈 입자는 경화성 실리콘 조성물의 17 내지 20 중량%, 대안적으로 20 초과 내지 32 중량%의 농도로 존재할 수 있다. 그러한 실시 형태에서, 은의 총 농도는 경화성 실리콘 조성물의 54.0 내지 59.4 중량%일 수 있다. 경화성 실리콘 조성물이 비스(알파,오메가-글리시독시알킬-D3 내지 D6 알킬,하이드로젠사이클로실록산)을 또한 함유할 때, 비스(알파,오메가-글리시독시알킬-D3 내지 D6 알킬,하이드로젠사이클로실록산)의 농도는 경화성 실리콘 조성물의 0.5 내지 1.5 중량% (예를 들어, 1 중량%)일 수 있다.

[0091] SiH-함유 성분의 농도는, 경화성 실리콘 조성물 중 전체 SiH 농도가 상이한 비율들의 SiH-함유 성분들에 의해 도달될 수 있도록 경화성 실리콘 조성물에서 조정될 수 있다. 예를 들어, 경화성 실리콘 조성물이 비스(알파, 오메가-글리시독시알킬-D3 내지 D6 알킬,하이드로젠사이클로실록산)을 또한 함유할 때, 트라이메틸실록시-말단화된 다이메틸 메틸하이드로젠실리코 화합물의 농도는 0.2 내지 0.9 중량% (예를 들어, 0.5 중량%)일 수 있으며, 비스(알파,오메가-글리시독시알킬-D3 내지 D6 알킬,하이드로젠사이클로실록산)의 농도는 0.5 내지 1.5 중량% (예를 들어, 1 중량%)일 수 있고, 이들 둘 모두는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 한다. 경화성 실리콘 조성물에 비스(알파,오메가-글리시독시알킬-D3 내지 D6 알킬,하이드로젠사이클로실록산)이 결여될 때 (즉, 0 중량%), 트라이메틸실록시-말단화된 다이메틸 메틸하이드로젠실리코 화합물의 농도는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 0.2 내지 1.5, 대안적으로 0.9 내지 1.5 중량%일 수 있다.

[0092] 충전제를 포함하는 다수의 성분을 포함하는 경화성 실리콘 조성물의 제조 방법은 본 기술 분야에 일반적으로 공지되어 있다. 예를 들어, 경화성 실리콘 조성물 및 경화성 유기실록산 조성물은 혼합에 의한 것과 같이 성분들을 배합하는 것을 포함하는 방법에 의해 제조될 수 있다. 본 명세서에 달리 표시되지 않는다면, 성분들은 임의의 순서로, 동시에, 또는 이들의 임의의 조합으로 배합될 수 있다. 전형적으로 상기 배합의 기술들은 혼합에 적합한 장비를 사용하여 성분들을 접촉시키고 혼합하는 것을 포함한다. 장비는 특별히 제한되지 않으나, 예를 들어, 비교적 높은 유동성 (낮은 역학 점도)의 조성물을 위한 교반 배치 케틀(agitated batch kettle), 리본 블렌더(ribbon blender), 솔루션 블렌더(solution blender), 코-니더(co-kneader), 밀(mill), 트윈-로터(twin-rotor) 혼합기, 밴버리(Banbury)형 혼합기, 또는 압출기일 수 있다. 상기 방법은 연속 혼합 장비를 이용할 수 있으며, 예를 들어, 압출기, 예를 들어 이축 압출기 (예를 들어, 베이커 퍼킨스(Baker Perkins) 시그마 블레이

드 혼합기 또는 고전단 투렐로(Turello) 혼합기)가, 상대적으로 많은 양의 미립자들을 함유하는 조성물을 제조하는 데 사용될 수 있다. 경화성 실리콘 조성물 및 경화성 유기실록산 조성물은 배치식 공정, 반배치식 공정, 반연속식 공정 또는 연속식 공정에서 제조될 수 있다. 일반적인 방법은 예를 들어 미국 특허 공개 제 2009/0291238호; 미국 특허 공개 제 2008/0300358호에 공지되어 있다.

[0093] 경화성 실리콘 조성물 및 경화성 유기실록산 조성물은 단일 파트(one part) 또는 다중 파트(multiple part) 조성물로 제조될 수 있다. 단일 파트 조성물은, 예를 들어 본 방법에 대하여 기재된 바와 같이, 혼합과 같은 임의의 편리한 수단에 의해 모든 성분들을 배합함으로써 제조될 수 있다. 모든 혼합 단계 또는 단지 최종 혼합 단계는 가열을 최소화하거나 피하는 (예를 들어, 혼합 동안 온도를 30°C 미만으로 유지하는) 조건 하에서 실시될 수 있다. 다중 파트 (예를 들어, 2파트) 조성물이 제조될 수 있으며, 여기서 적어도 일차적인 유기실록산 (예를 들어, 다이오르가노실록산, 예를 들어 성분 (A)), 및 선택적으로 임의의 다른 유기규소 화합물 (예를 들어, 접착 촉진제 및/또는 사슬 연장제/가교결합제, 예를 들어 성분 (B)의 유기하이드로젠실리콘 화합물)은 단일 파트로 보관되며, 임의의 촉매 (예를 들어, 성분 (C))는 별도 파트로 보관되며, 상기 파트들은 상기 조성물의 사용 직전에 (예를 들어, 혼합에 의해) 배합된다. 대안적으로, 일차적인 유기실록산 및 임의의 촉매는 하나의 파트로 보관될 수 있으며, 임의의 다른 유기규소 화합물은 별도의 파트로 보관될 수 있다. 전형적으로, 사슬 연장제/가교결합제 및 촉매는 촉매가 촉매적 활성을 가질 때 (미세캡슐화되지 않거나 또는 저해되지 않음) 별도 파트로 보관된다. 일차적인 유기실록산을 함유하는 마스터 배치(master batch)는 제조되고, 단일 파트를 제조하기 위해 회석 준비가 될 때까지 보관될 수 있다. 예시적인 제법이 이후에 실시예에 기재되어 있다.

[0094] 탄소 나노튜브를 적어도 일부분의 경화성 유기실록산 조성물과 혼합하여 탄소 나노튜브 및 상기 적어도 일부분의 경화성 유기실록산 조성물의 분산물을 포함하는 마스터 배치를 형성할 수 있다. 탄소 나노튜브를 상기 일부분의 경화성 유기실록산 조성물 내에 분산시켜 마스터 배치를 제조하는 것은 임의의 적합한 혼합 수단에 의해 수행될 수 있다. 적합한 혼합 수단의 예로는 초음파 처리, 분산 혼합, 유성 혼합(planetary mixing), 및 3-롤 밀링이 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 계면활성제를 이용하여 담체 액체 (예를 들어, 물) 중 탄소 나노튜브의 분산을 조장하여서 에멀전을 형성할 수 있으며, 이를 경화성 유기실록산 조성물과 혼합하여 일시적인 혼합물을 제공하고, 그 후, 담체 액체 (예를 들어, 물)를 상기 일시적인 혼합물로부터 제거하여 마스터 배치를 제공할 수 있다. 편의상, 담체 액체는 비점이 20° 내지 150°C일 수 있다. 계면활성제가 사용될 때, 전형적으로 담체 액체는 물 또는 수성 혼합물이지만, 담체 액체는 비-수성, 예를 들어 메탄올 또는 폴리다이메틸실록산 유체로서 비점이 20° 내지 150°C인 것일 수 있다. 일단 형성되면, 마스터 배치는 그 후에 경화성 유기실록산 조성물의 임의의 잔존 부분을 포함하는 경화성 실리콘 조성물의 다른 성분과 혼합하여 경화성 실리콘 조성물을 제조할 수 있다.

[0095] 일단 제조되면, 경화성 실리콘 조성물 및 경화성 유기실록산 조성물은 즉시 사용되거나 또는 사용 전에 임의의 실제적인 기간, 예를 들어 1시간 이상, 대안적으로 1일 이상, 대안적으로 1주일 이상, 대안적으로 30일 이상, 대안적으로 180일 이상 동안 보관될 수 있다. 경화성 실리콘 조성물 및 경화성 유기실록산 조성물은 365일, 대안적으로 180일까지 사용될 경우 최상일 수 있지만, 이러한 최대 보관 기간은 보관 조건, 예를 들어 용기, 용기 내의 분위기, 및 보관 온도에 따라 증가될 수 있다. 경화성 실리콘 조성물 및 경화성 유기실록산 조성물은 경화성 실리콘 조성물 또는 경화성 유기실록산 조성물을 경화 조건 (예를 들어, 열 또는 수분)에 노출로부터 보호하는 용기 내에 보관될 수 있다. 보관은 적합한 온도 (예를 들어, -40 내지 -20°C, 예를 들어, -30°C)에서, 그리고 요구될 경우, 불활성 가스 분위기 (예를 들어, N₂ 또는 Ar 가스) 하에서의 것일 수 있다. 요구될 때, 경화성 실리콘 조성물을 경화 조건들에 노출시킴으로써 경화성 실리콘 조성물의 경화를 개시하여 ECSA를 제공할 수 있다.

[0096] 경화성 실리콘 조성물은 이로부터 제조되는 ECSA의 특성에 의해 특징지어질 수 있다. 예를 들어, 경화성 실리콘 조성물은 ECSA의 체적 저항률, 전기 전도도, 가요성, 또는 이들의 임의의 조합에 의해 특징지어질 수 있다.

[0097] 전기 전도성 실리콘 접착제 (ECSA). ECSA는 임의의 경화된 실리콘 조성물, 예를 들어 축합 경화된 유기실록산, 자유 라디칼 경화된 유기실록산, 또는 하이드로실릴화 경화된 유기실록산을 포함하는 결합제 매트릭스를 포함할 수 있다. 본 발명의 일부 실시 형태는 ECSA를 조성물(composition of matter)로서 제공하며, 이는 제법 한정 물질(product-by-process)으로서 기재될 수 있다. 다른 실시 형태는 경화성 실리콘 조성물의 경화 생성물을 포함하는 결합제 매트릭스 (경화된 유기실록산 매트릭스) 전체에 걸쳐 널리 분산된 은 입자, Ag-코팅된 코어 입자 및 탄소 나노튜브를 포함하는 복합 구조로서 ECSA를 제공한다. 경화된 그대로의(as-cured) ECSA는, 예를 들어 전기 디바이스의 제1 전기 구성요소와 제2 구성요소 사이에 배치된 경화된 그대로의 ECSA가 경화된 그대로의

ECSA 중 전기 전도성 충전제를 노출시킬 필요 없이 경화된 그대로의 ECSA를 통하여 상기 제1 전기 구성요소와 제2 전기 구성요소 사이의 전류의 전도를 조장하도록 하는 것과 같이 전류의 전송을 조장할 수 있다. ECSA의 복합 구조는 결합제 매트릭스 중의 은 입자, Ag-코팅된 코어 입자 및 탄소 나노튜브의 단면 영상, 종방향 영상, 또는 2차원 또는 3차원 배치에 의해 특징지워질 수 있다. 탄소 나노튜브는 은 입자, Ag-코팅된 코어 입자, 및/또는 경화된 유기실록산 매트릭스를 관찰하는 데 사용될 수 있는 입자의 배열에 비하여 단면 영상에서 보이도록 더 높은 배열의 관찰을 필요로 할 수 있다. ECSA는 0.001 옴-cm 미만의 체적 저항률, 또는 이전에 기재된 전술한 체적 저항률 범위들 중 어느 하나에 의해 특징지워질 수 있다. ECSA는 0.0010 옴-센티미터 (옴-cm) 미만, 대안적으로 0.00099 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00090 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00080 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00070 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00065 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00050 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00020 옴-cm 미만, 예를 들어 0.00010 내지 0.00090 옴-cm, 대안적으로 0.00014 내지 0.00087 옴-cm의 체적 저항률에 의해 특징지워질 수 있다. 본 경화성 실리콘 조성물의 체적 저항률은 0 옴-cm 초과이다. 본 명세서에서 달리 표시되지 않으면, 모든 체적 저항률은 이후에 기재되는 체적 저항률 시험 방법에 따라 측정된다.

[0098] ECSA는 다양한 상이한 기재, 예를 들어 금속 (예를 들어, 알루미늄), 세라믹 또는 실리카 유리 기재에 대한 접착성을 제공할 수 있다. 일부 실시 형태에서, 일부 기재의 표면은 먼저 표면 층의 조성물을 제거하거나 또는 변화시키도록 처리될 수 있는데, 상기 표면 층은 기재의 기본 층과는 상이한 재료의 것일 수 있다. 대안적으로, 상기 표면 층은 경화성 실리콘 조성물 및/또는 ECSA와 접촉되기 전에 기계적으로 패턴화되거나 또는 비처리될 수 있다. 제거될 수 있는, 대안적으로 남겨질 수 있는 표면 층의 예로는 금속 산화물 층, 보호 코팅 (예를 들어, 주변 공기에 노출될 때 산화되기 쉬운 금속에 도포된 유기 코팅), 및 분말, 예를 들어 기재의 기계적 에칭에 의해 기재 상에 침착되었을 수 있는 분말 잔사가 있다. 금속 기재의 예로는 이전에 기재된 전기 전도성 금속 및 금속 합금, 대안적으로 알루미늄, 구리, 금, 니오븀, 팔라듐, 백금, 은, 스테인리스강, 탄탈륨, 및 티타늄이 있다. 경화성 실리콘 조성물 또는 ECSA를 수용하는 기재의 표면 층은 ECSA에 화학적으로 결합될 수 있는 재료로서, ECSA는 상기 표면 층 상의 경화성 실리콘 조성물의 경화에 의해 제조된 후 접착 강도가 성취되도록 상기 재료에 접착된다. 또한, ECSA는 먼저 프라이밍되었거나 또는 처리된 다양한 상이한 유기 중합체 기재에 대한 접착성을 제공할 수 있다. ECSA에의 접착을 위하여 기재 상에 표면을 형성하도록 프라이밍되었거나 또는 처리될 수 있는 유기 중합체 기재의 예로는 폴리에틸렌 및 폴리프로필렌이 있다. 상기 표면 층이 처리 (프라이밍)될 경우, 기재의 표면의 프라이밍 또는 처리는 이의 표면의 작업 부분을 접착 촉진제를 이용하여 처리하거나 또는 상기 표면의 작업 부분을 화학적 에칭하거나, 기계적 에칭하거나, 또는 플라즈마 처리함으로써 처리하는 것을 포함할 수 있다. 적합한 접착 촉진제의 예로는 OFS 6040 지아미터(XIAMETER), 다투 코닝(DOW CORNING) P5200 접착 촉진제, 및 1200 OS 프라이머 클리어(Primer Clear)가 있다. 일반적으로, 경화 온도 및/또는 경화 시간의 증가는 접착성을 향상 (즉, 증가)시킬 것이다.

[0099] ECSA의 상이한 실시 형태들은 이후에 기재되는 박리 내성 시험 방법에 따라 특정 실리카 유리 기재와 같은 상기 기재 재료 상에서의 그의 접착 강도를 특성화함으로써 비교될 수 있다. 기재 재료가 비프라이밍되었거나 또는 비처리된 기재, 대안적으로 미리 프라이밍되었거나 또는 처리된 기재일 때, ECSA는 박리 내성 시험 방법에 따라 실리카 유리 기재에서 측정될 경우 0.3 뉴턴 (N) 이상의 접착 강도에 의해 특징지워질 수 있다. 대안적으로, ECSA는 0.1 N 이상, 대안적으로 0.3 N 이상, 대안적으로 0.5 N 이상, 대안적으로 1.0 N 이상의 접착 강도에 의해 특징지워질 수 있다. ECSA는 임의의 최대 접착 강도를 가질 수 있다. 일부 실시 형태에서, ECSA는 5 N, 대안적으로 2 N, 대안적으로 1 N, 대안적으로 0.3 N의 최대 접착 강도를 가질 수 있다. 특정 ECSA의 접착 강도 값은 기재의 재료에 따라 달라질 수 있다. ECSA인 것으로서의 경화 후 경화성 실리콘 조성물의 실시 형태를 특성화할 목적을 위하여, 기재는 붕규산 실리카 유리일 수 있다. 상이한 ECSA들은 붕규산 실리카 유리 기재와 같은 상기 기재에서 측정할 경우 박리 내성 시험 방법에 따른 그의 접착 강도에 의해 특징지워질 수 있거나 또는 비교될 수 있다. 상기 실리카 유리는 미국 뉴욕주 코닝 소재의 코닝 인크.(Corning Inc.)로부터의 이글(Eagle) XG 실리카 유리 (예를 들어, HS-20/40)일 수 있다.

[0100] ECSA는 독립적으로, 전류 전도용 수단으로서가 아니라 접착제로서 일부 응용에서 이용될 수 있으며, 그러한 응용은 비-전기 전도성 재료를 포함하는 동일하거나 또는 상이한 기재들을 서로에게 접착시키기 위하여 ECSA를 사용하는 것을 포함한다. 반복하면, 접착제로서의 ECSA의 용도는 ECSA가 전류를 전도하는 기능을 하지 않거나 또는 전류를 전도하는 기능을 할 필요가 없는 응용을 포함할 수 있다. 대안적으로, ECSA는 일부 응용에서 접착제로서, 그리고 적어도 정기적으로는 전기 디바이스의 2개 이상의 전기 구성요소 사이의 전류 전도를 위한 수단으로서 사용될 수 있다. 상기 2개 이상의 전기 구성요소는 대향 표면들을 가지며, 그 사이에서 ECSA와 접촉한다. 전류가 그 표면들 사이에서 전도될 수 있는 기간은 전기 구성요소들 또는 전기 구성요소들 및 전기 디바이스가 전기적으로 활성화될 때이다. 대안적으로, ECSA는 일부 응용에서 전기 디바이스의 2개 이상의 전기 구성요소

사이의 전류의 전도를 위한 수단으로서 이용될 수 있지만, 상기 전기 구성요소들을 서로에게 접촉시키기 위한 접촉제로서 이용되는 것은 아닐 수 있다. 반복하면, 전기 디바이스의 2개 이상의 전기 구성요소 사이에서 전류를 전도하기 위한 수단으로서의 ECSA의 사용은, 상기 전기 구성요소들이 접촉제 작용 이외의 수단을 통하여 ECSA에 전기 작동 접촉 상태로 유지되고 있는 응용을 포함할 수 있다. 그러한 다른 비-접촉 수단의 예는, 전기 구성요소들이 서로 마찰식 끼워맞춤(friction fit) 형태로 또는 공통 하우징 내에 배치되는 경우, 기계적 체결 수단, 예를 들어, 외부 나사산 체결구(externally screw-threaded fastener), 땀납 (전기 구성요소들의 대향 표면들의 매우 작은 면적과의 접촉에 한정됨), 및 클램프이다.

[0101] 경화성 실리콘 조성물을 경화시켜 ECSA를 제공하는 동안 탄화수소 비히클의 완전한 제거를 가정하면, ECSA 중 은의 이론적인 총 농도는 이후에 기재되는 바와 같이 계산될 수 있다. 일부 실시 형태에서, ECSA 중 은의 이론적인 총 농도는 55 내지 65 중량%, 대안적으로 56.0 내지 64.0 중량%, 대안적으로 56.6 내지 63.7 중량%, 대안적으로 55.0 내지 59.8 중량%, 대안적으로 60.0 내지 65.0 중량%이다.

[0102] 대향하는 표면들을 갖는 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소와 상기 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소의 상기 대향 표면들 사이에서 상기 대향 표면들과 접촉식 작동 접촉 상태로 배치된 ECSA를 포함하는 전기 디바이스로서; 상기 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소는 상기 ECSA를 통하여 서로 전기적 작동 통신되도록 배치되며; 상기 ECSA는 0.0010 옴-센티미터 미만의 체적 저항률, 또는 이전에 기재된 전술한 체적 저항률 범위들 중 어느 하나를 특징으로 할 수 있다. ECSA는 상기 전기 구성요소들을 함께 접합시키며, 전기 디바이스의 작동 동안 ECSA를 통하여 상기 구성요소들 사이의 전류의 이동을 조장한다. 매우 다양한 전기 디바이스가 ECSA를 이용할 수 있다. 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소의 대향 표면들은 상기에 기재된 바와 같이, 비처리된 기재의 표면일 수 있다. 대안적으로, 제1 전기 구성요소 및 제2 구성요소의 대향 표면들 중 하나 또는 둘 모두는 ECSA에의 접촉을 위한 표면을 형성하도록 미리 프라이밍되었거나 또는 처리되었을 수 있는 기재의 표면일 수 있다. 경화성 실리콘 조성물 및 ECSA로 제조될 수 있는 전기 디바이스의 예로는 전기 구성요소, 예를 들어 안테나, 감쇠기(attenuator), 광 밸러스트(light ballast), 배터리(battery), 바이메탈 스트립(bimetallic strip), 브러시, 커패시터, 전기화학 전지, 제어 보드(control board), 계기 패널(instrument panel), 분배기(distributor), 일렉트로그래프(electrograph), 정전기 발생기(electrostatic generator), 전자 필터, 광 점멸 장치(light flasher), 퓨즈, 인덕터, 잭(jack), 플러그, 정전 집진기(electrostatic precipitator), 정류기, 릴레이(relay), 저항기(resistor), 점화 피뢰기(spark arrestor), 억제기(suppressor), 단자, 및 전자제품 회로판 배선 패턴(electronics circuit board wiring pattern)이 있다. 그러한 전기 디바이스의 예에는 복수의 그러한 전기 구성요소를 포함할 수 있는 더 높은 수준의 전기 디바이스가 또한 포함된다. 더 높은 수준의 전기 디바이스는 태양광 전지 모듈 및 패널과, 전자 디바이스, 예를 들어 컴퓨터, 태블릿(tablet), 라우터(router), 서버(server), 전화기, 및 스마트폰(smartphone)을 포함한다. 전기 디바이스에서의 ECSA의 용도는 특별히 한정되지 않으며, 예를 들어 ECSA는 적절한 종래 기술의 전기 디바이스의 임의의 ECA 대신 사용될 수 있다.

[0103] 표면들을 갖는 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소와 ECSA를 포함하는 전기 디바이스의 제조 방법으로서, 상기 방법은 본 경화성 실리콘 조성물을 상기 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소의 일면 또는 양면 상에 침착시키는 단계와, 상기 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소를 상기 구성요소들의 표면들이 서로에 대향하여 상기 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소의 상기 대향 표면들 사이에서 상기 표면들과 물리적 접촉 상태로 배치된 상기 경화성 실리콘 조성물을 포함하는 예비 조립체(preassembly)를 제공하도록 배향시키는 단계와; 상기 제1 전기 구성요소와 제2 전기 구성요소의 대향 표면들 사이의 상기 경화성 실리콘 조성물을 경화시켜 전기 디바이스를 제공하는 단계를 포함한다. 침착은 임의의 적합한 방식으로 실시될 수 있다. 예를 들어, 적합한 침착 방식은 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소 둘 모두가 아닌 하나의 표면 상에 경화성 실리콘 조성물 전부를 배치하고, 그 후, 상기 배치된 경화성 실리콘 조성물을 상기 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소의 다른 하나 (즉, 상기 조성물이 결여된 구성요소)의 표면에 대향 접촉시켜서 예비조립체를 제공하는 것을 포함한다. 다른 적합한 침착 방식은 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소의 표면들 중 하나 상에 경화성 실리콘 조성물의 제1 부분을 배치하고, 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소의 표면들의 다른 하나 상에 경화성 실리콘 조성물의 제2 부분을 배치하고, 그 후, 상기 배치된 경화성 실리콘 조성물의 제1 부분 및 제2 부분을 대향 접촉시켜서 예비조립체를 제공하는 것을 포함한다. 경화성 실리콘 조성물의 제1 부분 및 제2 부분은 양, 조성, 배치(batch), 에이징(age), 경화 정도, 및/또는 다른 특성 (예를 들어, 온도)이 동일하거나 또는 상이할 수 있다. 본 발명은 또 다른 적합한 방식이 이용될 수 있음을 의도하는데, 이에 의해 예비조립체가 생성되는 한 그러하다. 경화성 실리콘 조성물의 경화에 의해 제조된 ECSA를 포함하는 상이한 전기 디바이스들의 제조 방법은 일반적으로 본 기술 분야에 공지되어 있다. 전기 디바이스는 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소와, 상기 제1 전기 구성요소와 제2 전기 구성요소의 대향 표면들 사이에서 상기 대향 표면들과 접촉식 작동

접촉 상태로 배치된 전기 전도성 실리콘 접촉체를 포함하여서, 상기 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소는 상기 전기 전도성 실리콘 접촉체를 통하여 서로 전기적 작동 통신되도록 배치되게 된다. 전기 디바이스 중 ECSA는 체적 저항률 시험 방법에 따라 측정된 체적 저항률이 0.0010 옴-센티미터 미만인 것을 특징으로 한다.

[0104] 본 제조 방법은 하나 초과와 전기 디바이스를 제조하는 것을 포함할 수 있으며, 여기서, 상이한 유동학적 특성을 갖는 경화성 실리콘 조성물들은 상이한 전기 디바이스의 제조에 이용된다. 예를 들어, 본 방법은 제1 요변 지수 (n_1/n_{10})를 갖는 제1 경화성 실리콘 조성물을 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소의 대향 표면들 상에 침착시켜서, 상기 제1 전기 구성요소와 제2 전기 구성요소의 대향 표면들 사이에서 상기 표면들과 물리적 접촉 상태로 배치된 제1 경화성 실리콘 조성물을 포함하는 제1 예비조립체를 제공하는 단계와; 상기 제1 전기 구성요소와 제2 전기 구성요소의 대향 표면들 사이의 상기 제1 경화성 실리콘 조성물을 경화시켜 제1 전기 디바이스를 제공하는 단계와; 상기 제1 경화성 실리콘 조성물의 유동학적 특성을 조정하여 제2 요변 지수 (n_1/n_{10})를 갖는 제2 경화성 실리콘 조성물을 제공하는 단계로서, 상기 제1 요변 지수 (n_1/n_{10}) 및 제2 요변 지수 (n_1/n_{10})는 0.3 이상, 대안적으로 0.5 이상, 대안적으로 1 이상, 대안적으로 2 이상, 대안적으로 3 이상, 대안적으로 4 이상, 대안적으로 5 이상만큼 서로와 상이하고, 이들 전부는 상기 조정의 결과로서 그러한, 단계와; 상기 제2 경화성 실리콘 조성물을 제3 전기 구성요소와 제4 전기 구성요소의 대향 표면들 상에 침착시켜서, 상기 제3 전기 구성요소와 제4 전기 구성요소의 대향 표면들 사이에서 상기 표면들과 물리적 접촉 상태로 배치된 제2 경화성 실리콘 조성물을 포함하는 제2 예비조립체를 제공하는 단계와; 상기 제3 전기 구성요소와 제4 전기 구성요소의 대향 표면들 사이의 상기 제2 경화성 실리콘 조성물을 경화시켜 제2 전기 디바이스를 제공하는 단계를 포함할 수 있다. 각각의 침착 단계는 제1 예비조립체 및 제2 예비조립체를 독립적으로 제공하도록 이전에 기재된 바와 같이 임의의 적합한 방식으로 독립적으로 실시될 수 있다. 제1 경화성 실리콘 조성물의 마스터 배치의 일 부분이 제1 전기 디바이스의 제조에서 사용될 수 있으며, 제1 경화성 실리콘 조성물의 마스터 배치의 다른 부분이 상기 조정 단계에서 사용될 수 있다. 제1 전기 디바이스는 상기 조정 단계 전, 대안적으로 상기 조정 단계 후에 제조될 수 있다. 제1 요변 지수 및 제2 요변 지수 (n_1/n_{10}) 값 각각은 독립적으로 3 내지 10일 수 있다. 제1 전기 디바이스의 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소는 제1 ECSA를 통하여 서로 전기적 작동 통신되도록 배치되며, 여기서, 상기 제1 ECSA는 제1 경화성 실리콘 조성물의 경화에 의해 제조되고, 0.0010 옴-센티미터 미만의 체적 저항률을 특징으로 한다. 제2 전기 디바이스의 제3 전기 구성요소 및 제4 전기 구성요소는 제2 ECSA를 통하여 서로 전기적 작동 통신되도록 배치되며, 여기서, 상기 제2 ECSA는 제2 경화성 실리콘 조성물의 경화에 의해 제조되고, 0.0010 옴-센티미터 미만의 체적 저항률을 특징으로 한다. 제1 ECSA 및 제2 ECSA의 체적 저항률은 동일할 수 있으며, 대안적으로 0.0001 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00005 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00002 옴-cm 미만만큼 서로와 상이할 수 있다.

[0105] 본 제조 방법은 하나 초과와 전기 디바이스를 제조하는 것을 포함할 수 있으며, 여기서, 침착 및/또는 경화 조건 (총괄적으로, 제조 조건)은 상이하다. 예를 들어, 침착 및/또는 경화 조건은 경화성 실리콘 조성물의 온도, 경화성 실리콘 조성물의 유량, 경화성 실리콘 조성물의 경화 시간, 경화성 실리콘 조성물과 접촉 상태로 있을 때의 기재의 배향, 및 제1 기재 및 제2 기재의 표면의 화학 조성 또는 구조 중 하나 이상이 서로와 상이할 수 있다. 유동학적 특성은 전기 전도성 코어의 총 농도를 증가시키지 않고서도 조정될 수 있어서, 상기 유동학적 특성의 조정 전 및 그 후 요변 지수 (n_1/n_{10}) 값은 각각 3 내지 10이 되며, 0.3 이상, 대안적으로 0.5 이상, 대안적으로 1 이상, 대안적으로 2 이상, 대안적으로 3 이상, 대안적으로 4 이상, 대안적으로 5 이상만큼 서로와 상이해지는데, 이들 전부는 상기 조정의 결과로서의 것이다.

[0106] 이전에 언급된 바와 같이, 전술한 실시 형태들 중 임의의 것에서, 경화성 실리콘 조성물을 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소의 대향 표면들 상에 침착시키는 것은 경화성 실리콘 조성물을 일면 또는 양면과 접촉시키고, 상기 표면들을 서로에게 대향되도록 하여 상기 경화성 실리콘 조성물이 대향 표면들 둘 모두와 직접적으로 접촉하게 하는 것을 포함할 수 있다. 마찬가지로, 상기를 이용하는 전술한 실시 형태들 중 임의의 것에서, 경화성 실리콘 조성물을 제3 전기 구성요소 및 제4 전기 구성요소의 대향 표면들 상에 침착시키는 것은 경화성 실리콘 조성물을 일면 또는 양면과 접촉시키고, 상기 표면들을 서로에게 대향되도록 하여 상기 경화성 실리콘 조성물이 대향 표면들 둘 모두와 직접적으로 접촉하게 하는 것을 포함할 수 있다. 경화성 실리콘 조성물을 상기 표면들과 접촉시키는 것은 순차적으로 또는 동시에 행해질 수 있다. 전기 디바이스에서, 상기 제1 전기 구성요소와 제2 전기 구성요소는 이들의 대향 표면들 사이에 상기 경화성 실리콘 조성물을 개재시킨다.

[0107] 경화성 실리콘 조성물은 다양한 침착 방법에 의해 상기 표면(들)에 적용될 수 있다. 적합한 방법의 예에는 스크린 또는 스텐실을 통한 인쇄, 분배, 또는 다른 방법, 예를 들어 에어로졸, 잉크젯, 그라비아(gravure), 또는

플렉소그래픽(flexographic) 인쇄가 포함된다. 경화성 실리콘 조성물은 상기 표면들에 도포되어 제1 전기 구성요소 및 제2 전기 구성요소, 대안적으로 제3 전기 구성요소 및 제4 전기 구성요소와 직접적으로 물리적 및 전기적으로 접촉하게 할 수 있다. 적용된 경화성 실리콘 조성물의 경화는 대향면들과 직접적으로 물리적, 접촉적 및 전기적 접촉 상태로 있는 ECSA를 제공하며, ECSA를 통하여 제1 전기 구성요소와 제2 전기 구성요소, 대안적으로 제3 전기 구성요소와 제4 전기 구성요소 사이의 전기적 작동 통신을 가능하게 한다.

[0108] 경화 조건은 전형적으로 승온을 포함하며, 탄화수소 비히클의 상당한 제거에 이르게 된다. 경화성 실리콘 조성물의 실질적으로 전부의 다른 성분들은 경화 조건 하에서 탄화수소 비히클보다 덜 휘발성인 성분을 형성하도록 하는 것이거나, 또는 상기 덜 휘발성인 성분들을 형성하도록 원위치에서 반응한다. 따라서, 탄화수소 비히클 뿐만 아니라 은 및 기타 성분들의 농도도 경화성 실리콘 조성물에서보다 ECSA에서 일반적으로 더 높다. 경화성 실리콘 조성물에서 탄화수소 비히클의 농도가 X 중량%이고, 은의 총 농도가 Y1 중량%라면, 그리고 탄화수소 비히클의 완전한 제거 (100% 제거율)를 가정하면, 이론적으로 ECSA 중 은의 총 농도는 $Y2 \text{ 중량\%} = 100 \times [Y1 \text{ 중량\%} / (100 \text{ 중량\%} - X \text{ 중량\%})]$ 일 것이다. 기재된 바와 같이, Y1은 50 내지 59.4 중량% 미만이며, X는 4.0 내지 20 중량%이고, 이들 전부는 경화성 실리콘 조성물의 총 중량을 기준으로 한다. 따라서, ECSA 중 은의 이론적인 총 농도는, ECSA를 제공하도록 경화성 실리콘 조성물을 경화시키는 동안 탄화수소 비히클의 완전한 제거를 가정하면, 55 내지 65 중량%, 대안적으로 56.0 내지 64.0 중량%, 대안적으로 56.6 내지 63.7 중량%, 대안적으로 55.0 내지 59.8 중량%, 대안적으로 60.0 내지 65.0 중량%일 수 있다.

[0109] 더 일찍 기재된 바와 같이, 경화성 유기실록산 조성물이 촉합 경화성이든지, 자유 라디칼 경화성이든지 하이드로실릴화 경화성이든지 간에, 경화 조건은 경화성 실리콘 조성물을 UV 광, 과산화물, 금속-함유 촉매, 및/또는 수분에 노출시키는 것을 추가로 포함할 수 있다. 예를 들어, 하이드로실릴화-경화성 실리콘 조성물의 경화는 전형적으로, 하이드로실릴화 촉매를 함유하는 하이드로실릴화-경화성 유기실록산을 가열하여 상당한 양의 탄화수소 비히클을 제거하고 ECSA를 제거하는 것을 포함한다. 상기 경화 조건은 경화 동안 벌크 체적의 재료의 수축을 조장하며, 비점이 100°C 미만 (예를 들어, 50°C)인 탄화수소 비히클을 갖는 것을 제외하고는 동일한 ECSA에 비하여 증가된 전기 전도도, 감소된 체적 저항률, 또는 이들 둘 모두를 갖는 ECSA 및 전기 전도성 충전제의 향상된 (즉, 증가된) 패키징으로 이어질 수 있다.

[0110] 본 발명의 일부 이점 및 효과. 본 발명에서, 탄소 나노튜브는 본 발명에서 이용되는 그의 농도에서 전기 전도도에 최소의 영향을 주거나 또는 부정적인 영향을 전혀 주지 않는 것으로 믿어진다. 일반적으로 매우 높은 로딩 수준의 탄소 나노튜브는, 고 로딩량의 탄소 나노튜브가 결여될 경우 달리 전기 전도성이 되지 않았을 경화된 중합체에 약간의 전기 전도성을 부여할 수 있지만, 대신에, 본 발명은 유리하게는 경화성 실리콘 조성물 중에 농도-민감성의 유동학적 특성 조정제로서 탄소 나노튜브를 상대적으로 낮은 농도로 이용하며, 이 경우 탄소 나노튜브는 궁극적으로 경화성 실리콘 조성물의 경화에서 생기는 ECSA의 전기 전도도에 부정적인 영향을 전혀 주지 않거나 또는 최소한으로 준다. 경화성 실리콘 조성물의 유동학적 특성은 전체 은 농도를 50 내지 60 중량% 미만으로 유지하고, 전기 전도성 금속의 총 농도를 72 중량% 미만으로 유지하면서, 그리고 생성된 ECSA의 체적 저항률을 0.001 옴-센티미터 미만으로 유지될 수 있게 하면서 전기 디바이스의 제조에 대한 상이한 응용의 상이한 유동학적 특성 요건을 맞추기 위하여 유용한 범위에 걸쳐 조정될 수 있다. 예를 들어, 경화성 실리콘 조성물의 유동학적 특성은 TI 시험 방법에 따라 측정된 요변 지수 (n_{10} / n_{100})가 3 이상인 것을 특징으로 할 수 있다. 예를 들어, 경화성 실리콘 조성물은 유리하게는, 전기 전도성 충전제의 총 농도를 증가시키지 않고서 3 내지 10 (3.0 내지 10.0, 예를 들어 3.8 내지 9)으로 조정가능한 요변 지수를 특징으로 하는 한편, 경화성 실리콘 조성물은 0.001 옴-센티미터 미만의 체적 저항률을 갖는 ECSA로 경화가능한 재료 있고 경화성 실리콘 조성물 중 은의 총 농도는 50 내지 60 중량% 미만이다. 또한, 요변 지수는 이러한 범위 내에서 조정될 수 있는 반면, 생성된 ECSA의 체적 저항률은 사실상 변화되지 않은 채로 있을 수 있다. 또한, 본 발명은 구리, 금, 또는 구리 및 금을 경화성 실리콘 조성물 및 ECSA에서 사용하지 않고서도 이러한 이점을 성취할 수 있다. 따라서, 일부 실시 형태에서, 경화성 실리콘 조성물 및 ECSA 조성물에는 구리, 금, 또는 구리 및 금이 결여된다.

[0111] 요변 지수의 조정 방식은, 은 입자, Ag-코팅된 코어 입자, 전체 은, 및 탄소 나노튜브의 농도가 이에 대하여 본 명세서에 기재된 중량% 범위 내에 남아 있는 한, 탄소 나노입자의 중량% 비율에 대한 은 입자 및 Ag-코팅된 코어 입자의 합한 중량% 부분을 조정하는 것; 대안적으로, 경화성 실리콘 조성물 중 탄소 나노튜브의 농도가 경화성 실리콘 조성물 중 탄소 나노튜브에 대하여 본 명세서에 기재된 중량% 범위 내에 남아 있는 한, 경화성 실리콘 조성물 중 탄소 나노튜브의 농도를 상승시키거나 또는 저하시키는 것, 대안적으로, 탄화수소 비히클의 농도가 탄화수소 비히클에 대하여 본 명세서에 기재된 중량% 범위 내에 남아 있는 한, 탄화수소 비히클의 농도를 상승시키거나 또는 저하시키는 것, 또는 이들 중 2가지, 대안적으로 3가지의 임의의 조합을 포함할 수 있다. 요

변 지수가 전부 상기 조정의 결과로서, 0.3 이상, 대안적으로 0.5 이상, 대안적으로 1 이상, 대안적으로 2 이상, 대안적으로 3 이상, 대안적으로 4 이상, 대안적으로 5 이상만큼 변화하는 한편, 요변 지수가 3 초과로 남아 있고, 전기 전도성 충전제의 총 농도가 증가하지 않고, 경화성 실리콘 조성물이 0.001 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00099 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00090 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00080 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00070 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00065 옴-cm 미만의 체적 저항률을 갖는 ECSA로 경화가능한 채로 있는 한, 그러한 조정 방식이 고려된다. 심지어 탄소 나노튜브의 농도가 상승되거나 또는 저하될 때에도, 경화성 실리콘 조성물로부터 제조된 ECSA의 요변 지수는 유의한 양만큼 (예를 들어, 1 이상만큼) 변화될 수 있는 반면, 예기치 않게도, 생성된 ECSA의 체적 저항률은 사실상 변화되지 않은 채로 있을 수 있다 (예를 들어, 0 내지 0.0001, 대안적으로 0 내지 0.0005, 대안적으로 0 내지 0.00002 옴-cm만큼 변화될 수 있다). 상기 조정은 경화성 실리콘 조성물 중 탄화수소 비히클의 농도를 변화시키지 않고서도 성취될 수 있으며, 대안적으로 경화성 실리콘 조성물 중 탄화수소 비히클의 농도는 혼자서 또는 전기 전도성 충전제의 변화와 조합되어 변화될 수 있다.

[0112] 따라서, 일부 실시 형태에서, 경화성 실리콘 조성물 중 탄소 나노튜브의 농도는 0.1 중량% 이상, 대안적으로 0.2 중량% 이상, 대안적으로 0.5 중량% 이상만큼 상승되거나 또는 저하되며; 그러한 경화성 실리콘 조성물 각각으로부터 제조된 ECSA의 요변 지수는, 전부 상기 상승 또는 저하의 결과로서, 0.3 이상, 대안적으로 0.5 이상, 대안적으로 1.0 이상, 대안적으로 2 이상, 대안적으로 3 이상, 대안적으로 4 이상, 대안적으로 5 이상만큼 변화되는 반면, ECSA의 체적 저항률은 변화되지 않은 채로 있거나 또는 서로의 0.0001 옴-cm 이내, 대안적으로 0.00005 옴-cm 이내, 대안적으로 0.00002 옴-cm 이내에 남아 있다. 일부 실시 형태에서, 그러한 경화성 실리콘 조성물 각각으로부터 제조된 ECSA의 요변 지수는 0.3 이상, 대안적으로 0.5 이상, 대안적으로 1.0 이상만큼 변화되는 반면, ECSA의 체적 저항률은 0.001 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00099 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00090 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00080 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00070 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00065 옴-cm 미만으로 남아 있다. 일부 실시 형태에서, 경화성 실리콘 조성물 중 탄화수소 비히클의 농도는 0.5 중량% 이상, 대안적으로 1 중량% 이상, 대안적으로 2 중량% 이상, 대안적으로 5 중량% 이상만큼 변화되며; 그러한 경화성 실리콘 조성물 각각으로부터 제조된 ECSA의 요변 지수는 0.3 이상, 대안적으로 0.5 이상, 대안적으로 1.0 이상만큼 변화되는 반면, ECSA의 체적 저항률은 0.001 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00099 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00090 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00080 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00070 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00065 옴-cm 미만으로 남아 있다. 전술한 비율 또는 양의 변화에 있어서, 2가지 이상의 상이한 ECSA, 대안적으로 3가지 이상의 상이한 ECSA, 대안적으로 4가지 이상의 상이한 ECSA를 제조하여 서로와 비교하여서 적절한 이점을 확립한다.

[0113] 바로 앞의 전술한 단락의 실시 형태에서, 경화성 실리콘 조성물의 요변 지수는 4 내지 9, 예를 들어, 3.8 내지 9의 범위로 조정될 수 있다. 탄소 나노튜브의 농도는 0.4 내지 2.2 중량%, 대안적으로 0.50 내지 2.0 중량%의 범위로 조정될 수 있다. 전체 은 농도는 53 내지 58 중량%, 예를 들어, 52.9 내지 58.1 중량%의 범위로 유지될 수 있다. 전체 전기 전도성 금속 농도는 68.0 내지 71.0 중량%의 범위에서 유지될 수 있다. 경화성 실리콘 조성물은 0.00090 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00080 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00070 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00065 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00050 옴-cm 미만, 대안적으로 0.00020 옴-cm 미만의 체적 저항률을 갖는 ECSA로 경화가능한 채로 있을 수 있다. 전술한 중량%는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 한다. 본 발명의 방법의 실시 형태는 그러한 조정, 범위 및 값을 포함한다. 예를 들어, 경화성 실리콘 조성물은 52.9 내지 58.1 중량%의 전체 은 농도; 68.0 내지 71.0 중량%의 전체 전기 전도성 금속 농도; 0.4 내지 2.2 중량%, 대안적으로 0.50 내지 2.0 중량%의 탄소 나노튜브 농도; 3.8 내지 9의 요변 지수; 및 0.00010 내지 0.00090 옴-cm, 대안적으로 0.00014 내지 0.00087 옴-cm의 체적 저항률의 조합을 특징으로 할 수 있다. ECSA 조성물이 이로부터 제조될 수 있다.

[0114] 그러한 조정가능한 경화성 실리콘 조성물은, 전기 구성요소/디바이스의 최종 사용자가 필요로 하는 ECSA의 전기적 특성을 유지하면서 전기 구성요소/디바이스의 제조 조건의 변화된 유동학적 특성에 대한 필요성을 충족시키는 상이한 경화성 전구체 제형들을 개발하는 데 유용하다. 예를 들어, 경화성 실리콘 조성물은 상이한 유형의 전기 구성요소/디바이스의 스크린 인쇄에 유용한 것을 포함하는, 상기 경화성 실리콘 조성물의 스크린 인쇄에 유용한 유동학적 특성을 갖는다. 본 경화성 실리콘 조성물은 충분한 점도를 가져서, 스크린 인쇄 동안 이 조성물이 너무 많은 슬럼프(slump), 블리딩(bleeding), 점적(dripping) 및/또는 충전제 침강(settling)을 나타내지 않는다. 부가적으로, 경화성 실리콘 조성물은 성공적인 스크린 인쇄를 위해 너무 큰 점도를 갖는 것은 아닐 수 있다. 본 경화성 실리콘 조성물은 조정가능한 유동학적 특성을 가져서, 전기 디바이스의 사용자가 필요로 하는 생성된 ECA의 전기적 특성을 유지하면서 광기전 디바이스 및 전자 회로 기관과 같은 상이한 전기 디바이스들의 제조업자의 다양한 필요성을 충족시킨다.

- [0115] 대안적으로 또는 부가적으로, 본 경화성 실리콘 조성물은 저 응력 상호접속(low stress interconnection)을 필요로 하는 최종 사용 응용에 충분한 가요성을 갖는다. 본 경화성 실리콘 조성물 및 ECSA는 넓은 온도 변동에 노출되는 전자 디바이스를 포함하는, 전기 디바이스의 실시 형태의 내구성을 향상시킨다.
- [0116] 본 발명의 주요 이점이 본 명세서에 기재된 임의의 경화성 실리콘 조성물을 이용하여 실현될 수 있지만, 경화성 실리콘 조성물 및 그의 경화성 유기실록산 조성물이 하이드로실릴화-경화성 유기실록산을 포함하고, 경화 후 ECSA는 적어도 부분적으로 하이드로실릴화 경화된 유기실록산을 포함하는 본 발명의 실시 형태는, 경화성 실리콘 조성물 및 그의 경화성 유기실록산 조성물이 축합 경화성 실리콘 조성물 및 그의 축합 경화성 유기실록산 조성물을 포함하고 경화 후 ECSA가 적어도 부분적으로 축합 경화된 유기실록산을 포함하는 다른 발명의 실시 형태에 비하여 추가의 이점을 가질 수 있다. 예를 들어, 전형적으로 하이드로실릴화 경화성 실리콘 조성물은 생성된 하이드로실릴화 경화된 ECSA에서 부식 또는 공극을 야기했을 경우 경화 부산물을 전혀 생성하지 않는 반면, 축합 경화성 실시 형태는 약간의 부식성 (예를 들어, 아세트산) 및/또는 휘발성 (예를 들어, 메탄올) 부산물을 생성할 수 있는데, 이는 요구될 경우 제거될 수 있다. 또한, 하이드로실릴화 경화성 실리콘 조성물은 전형적으로 그의 벌크 체적 전체에 걸쳐 대략적으로 동일한 속도로 또는 시간에 경화되는 반면, 축합 경화성 실리콘 조성물은 전형적으로 바깥쪽으로부터 안쪽으로 경화된다. 또한, 하이드로실릴화 경화된 ECSA는 복귀 내성(reversion resistant)인 반면, 축합 경화된 ECSA는 덜 그러하다. 따라서, 임의의 경화성 실리콘 조성물이 사용될 수 있지만, 하이드로실릴화 경화성 실리콘 조성물이 추가의 이익을 제공할 수 있다.
- [0117] 수치적 특성 값의 결정: 본 발명의 목적상, 그리고 달리 표시되지 않으면, 본 명세서에서 사용되는 수치적 특성 값은 하기 절차에 의해 결정될 수 있다.
- [0118] 접착 강도의 측정: 본 발명의 목적상 그리고 달리 표시되지 않으면, ASTM D6862-04 (접착제의 90도 박리 내성에 대한 표준 시험 방법(*Standard Test Method for 90 Degree Peel Resistance of Adhesives*))에 기재된 시험 방법과 일치하는 박리 내성 시험 방법이 이용되었다. 박리 내성 시험 방법: 90도 박리 시험을 이용하여 강성 피착체 (기재, 예를 들어 실리카 유리) 및 가요성 피착체 (예를 들어, 2 mm 폭의 구리선)에 접합된 시험 접착제의 박리 내성 강도를 측정한다. 이 시험 방법의 목적상, 상기 피착체들의 표면은 이에 접착제를 적용하기 전에 표면 프라이밍 또는 처리를 겪지 않는다. 시험 접착체를 0.5 mm × 114 mm × 0.25 mm의 치수의 천공을 통하여 강성 피착체 상에 스크린 인쇄한다. 가요성의 2 mm 폭의 구리선을 스크린 인쇄된 시험 접착체의 상부 상에 두고, 생성된 구조물을 공기 중에서 150°C에서 15분 동안 열처리하여 시험 샘플을 제공한다. 90도 박리 내성 측정은 인스트론(INSTRON) 전기기계 시험 시스템의 파지 고정구(gripping fixture)에서 일어나는데, 상기 파지 고정구는 시험 동안 일정한 90도 박리각이 유지될 수 있게 한다. 시험 샘플을 인스트론 테이블 상에 위치시키고, 시험 영역의 양쪽에서 대략 5 mm의 거리로 클램핑하여 굴곡을 최소화한다. 약 3 센티미터 (cm) 길이의 구리선이 측정 구역 (즉, 구리선이 강성 피착체와 접촉하는 시험 영역)으로부터 돌출되어 있고, 이는 시험 샘플을 인장 시험기(pull tester)에 부착시키는 데 사용된다. 모든 측정에 있어서, 구리선은 상기 측정 구역으로부터 2 mm 거리에서 굽혀지며, 파지 고정구 내에 삽입된다. 구리선의 단부가 강성 피착체에서 돌출되거나, 또는 상기 단부가 강성 피착체로부터 손에 의해 위로 당겨져서, 구리선 전부가 강성 피착체로부터 접합 해제되지 않고도 구리선의 상기 단부가 강성 피착체로부터 접합 해제되게 (물리적으로 분리되게) 하며, 접합 해제된 단부는 파지 고정구 내에 배치된다. 구리선을 굽히는 데 필요한 힘은 고려되지 않는데, 그 이유는 동일한 유형의 구리선에서 취득된 데이터만이 비교되기 때문이다. 100 뉴턴 (N; 20 lb와 등가임) 로드셀(load cell) 및 0.5 인치/분 (1.27 cm/분)의 변형 속도(strain rate)를 이용하며, 시험 샘플의 15 mm 길이의 이동에 걸친 평균 박리력을 측정한다. 4개 이상의 시편을 각각의 시험 샘플에 대하여 측정하여 평균 박리력을 취득하는데, 이것이 보고되는 것이다.
- [0119] 비점의 측정: 101.3 킬로파스칼 (kPa)의 표준 대기압에서 증류에 의해 비점을 측정한다.
- [0120] 역학 점도의 측정: 본 발명의 목적상 그리고 달리 표시되지 않으면, 회전 점도계, 예를 들어 브룩필드 싱크로-렉트릭(Brookfield Synchro-lectric) 점도계 또는 웰스-브룩필드 콘/플레이트(Wells-Brookfield Cone/Plate) 점도계를 사용하여 25°C에서 측정된 역학 점도를 사용한다. 그 결과는 일반적으로 센티푸아즈 단위로 보고된다. 이러한 방법은, 컵/스핀들(cup/spindle)의 경우 ASTM D1084-08 (접착제의 점도에 대한 표준 시험 방법(*Standard Test Methods for Viscosity of Adhesives*))의 방법 B에 따르거나 기반으로 하고, 콘/플레이트(cone/plate)의 경우 ASTM D4287-00(2010) (콘/플레이트 점도계를 사용한 고-전단 점도에 대한 표준 시험 방법(*Standard Test Method for High-Shear Viscosity Using a Cone/Plate Viscometer*))에 따르거나 기반으로 한다. 요변 지수를 결정하기 위한 역학 점도는 이후에 기재되는 TI 시험 방법에 따라 측정된다.

- [0121] 동점도의 측정: 25°C에서 시험 방법 ASTM-D445-11a (투명 및 불투명 액체의 동점도에 대한 표준 시험 방법 (및 역학 점도의 계산)(*Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)*))를 사용한다. cSt 또는 mm²/s 단위로 표현한다.
- [0122] 물질의 상태의 결정: 물질의 상태를 20°C 및 101.3 kPa의 압력에서 고체, 액체, 또는 기체/증기로서 특성 확인한다.
- [0123] 체적 저항률의 측정: 하기 실시예에 보고된 ECSA 시험 샘플의 체적 저항률을 하기 체적 저항률 시험 방법을 이용하여 측정하였다. 체적 저항률을 독일 소재의 지피 솔라 게엠베하(GP Solar GmbH)로부터의 4점-탐침 기기 (four-point-probe instrument), GP 4-테스트 프로(GP 4-TEST Pro)를 이용하여 측정하였다. 이 기기는 라인 저항 탐침 헤드(line resistance probe head)를 가지며, 전류 공급 및 전압 측정용 프리사이스 키이틀리 (Precise Keithley) 전자 제품을 포함한다. 라인 저항 탐침 헤드는 ECSA 시험 샘플인 전도성 스트립을 따라서 5 cm 거리를 통과하여 전기 저항을 측정하도록 구성된다. 시험 재료의 분취물을 5 mm × 60 mm × 0.25 mm 치수의 천공을 통한 스크린 인쇄에 의해 비-전도성 기재 (예를 들어, 실리카 유리 또는 세라믹) 상에 침착시켰다. 이는 5 mm × 60 mm = 300 mm²의 면적을 갖는 균일한 라인을 형성하였다. 도포된(spread) 시험 재료를 주위 (공기) 분위기 하에서 15분 동안 150°C의 온도로 설정된 오븐을 통과시킴으로써 이를 열경화시켜, 재료 (예를 들어, ECSA)의 시험 샘플을 생성하였다. 그 후, 2개의 내부 탐침자 팁들 사이의 전압 강하를 선택된 전류에서 측정하여 옴(Ω) 단위의 저항값을 제공하였다.
- [0124] 경화된 조성물의 초기 체적 저항률을 등식 $\rho = R(W \times T/L)$ [여기서, ρ 는 옴-센티미터(Ω-cm) 단위의 체적 저항률이며, R은 5 cm로 이격된 2개의 내부 탐침자 팁들 사이에서 측정된 경화된 조성물의 옴(Ω) 단위의 저항이며, W는 cm 단위의 경화된 층의 폭이며, T는 cm 단위의 경화된 층의 두께이며, L은 cm 단위의 상기 내부 탐침자들 사이의 경화된 층의 길이임]을 사용하여 계산하였다. 경화된 층의 두께는 마이크로미터(micrometer) (오노 소키(Ono Sokki) 디지털 표시계 번호 EG-225)를 사용하여 측정되었다. 요구될 경우, 단면적은 자이고(Zygo) 7300 백색광 간섭계를 사용하여 더 정확하게 측정될 수 있었다. 그렇기는 하지만, 하기 실시예에서 두께 측정치 전부는 마이크로미터를 이용하여 측정되었다. Ω-cm 단위의 체적 저항률 (ρ)은 동일하게 제조된 시험 시편에서 각각 실시된 3회의 측정의 평균값을 나타낸다. 이러한 측정은 10% 미만의 상대 오차를 갖는다.
- [0125] 요변 지수 (n_{11}/n_{10})의 측정: 요변 지수 (n_{11}/n_{10})는 하기 TI 시험 방법을 이용하여 측정된다. 40 밀리미터 직경의 플레이트를 구비하고 1 밀리미터의 갭을 갖는 ARES G2 평행판 유량계(Parallel Plate Rheometer; 이하, "유량계")를 사용하여 25°C에서 파스칼-초 (Pa.s) 단위의 역학 점도 (η)를 측정한다. 시험 샘플을 스피드믹서(SpeedMixer) 이중 비대칭형 원심분리식 실험실용 혼합기 (모델 번호: DAC 150 FVZ-K, 독일 합 소재의 하우실드 운트 코. 카게(Haushild & Co. KG))를 이용하여 1,200 rpm (revolution per minute)에서 20초 동안 교반시킨다. 그 후, 교반된 시험 샘플을 컨디셔닝(conditioning) 단계 및 그 후 플로우 스위프(flow sweep) 단계를 위하여 유량계 내에 즉각 로딩한다. 컨디셔닝 단계 동안, 시험 샘플을 0.001 rad/초의 전단율에서 300초 동안 혼합하여 컨디셔닝된 시험 재료를 제공한다. 그 후, 플로우 스위프 단계 동안, 컨디셔닝된 시험 재료의 역학 점도를 0.001 내지 100 rad/초 (rad·s⁻¹ 또는 rad/s)의 범위의 전단율에서 측정하여, 10배수의 전단율당 5개 이상의 데이터점을 기록한다 (즉, 0.001 rad/s에서 5개 이상의 데이터점, 0.01 rad/s에서 5개 이상의 데이터점 등에서 100 rad/s에서의 5개 이상의 데이터점에 이르기까지를 기록한다). 요변 지수 (n_{11}/n_{10})는 각각 1 및 10 rad/s의 전단율에서의 Pa-s 단위의 역학 점도 값을 나누어서 계산된다.
- [0126] 중량% (중량%)의 결정: 조성물, 혼합물 등의 성분의 중량%는 조성물, 혼합물 등의 제조에 첨가되는 성분들의 중량 및 조성물, 혼합물 등의 총 중량을 기준으로 한다.
- [0127] 실시예에서 사용한 성분이 뒤따른다.
- [0128] 탄화수소 비히클 (HV1)은 80 내지 81%의 (C₁₆)아이소헥사데칸, 3%의 (C₁₃)아이소트라이데칸, 및 16 내지 17%의 (C₁₂)아이소도데칸을 함유하는 아이소알칸 혼합물이었다.
- [0129] 은 입자 (Ag1)는 평균 입자 크기가 3.9 μm이고, 표면적이 0.86 m²/g이고, 겉보기 밀도가 1.58 g/cm³이고, 탭 (tap) 밀도가 3.02 g/cm³인, 지방산 에스테르 윤활된 은 플레이크였다.
- [0130] 은-코팅된 니켈 입자 Ag/Ni-40, Ag/Ni-30, 및 Ag/Ni-15는 Ag/Ni-40, Ag/Ni-30, 및 Ag/Ni-15 중 은의 농도가 은-코팅된 니켈 입자의 총 중량을 기준으로 각각 40 중량%, 30 중량%, 및 15 중량%였다. Ag/Ni-40, Ag/Ni-30,

및 Ag/Ni-15의 평균 입자 크기는 각각 8 내지 9 μm , 15 내지 16 μm , 및 35 내지 45 μm 였다. Ag/Ni-40, Ag/Ni-30, 및 Ag/Ni-15의 겔보기 밀도는 각각 3.0 g/cm^3 , 3.1 g/cm^3 , 및 3.4 g/cm^3 였다.

- [0131] 다중벽 탄소 나노튜브 (MWCNT1)는 외경이 50 내지 100 nm이고, 길이가 5 내지 20 μm 였다. 유도된 탄소 나노튜브 (DCNT1)는 그래핀화 MWCNT였으며, 이는 순도가 99.9 중량% 초과이고, 외경이 5 내지 20 nm이고, 길이가 5 내지 50 μm 였다.
- [0132] 비닐-작용화된 폴리다이메틸실록산 (VFPDMS1): 이 일차적인 유기실록산은 역학 점도가 40,000 내지 70,000 Pa.s 인 비닐-작용화된 폴리다이메틸실록산이었다.
- [0133] 사슬 연장제/가교결합제는 역학 점도가 55 cSt (55 mm^2/s)인 트라이메틸실록시-말단화된 다이메틸 메틸하이드로젠실록산 (CE/CL1) 액체였다. 다른 사슬 연장제/가교결합제는 다이메틸비닐실록시-말단화된 메틸하이드로젠사이클로실록산 (CE/CL2)이었다.
- [0134] 접착 촉진제 (AP1)는 동점도가 17 cSt (17 mm^2/s)인 비스(알파,오메가-글리시독시알킬)-다이알킬/(알킬,알케닐)실록산 접착 촉진제와 비스(알파,오메가-글리시독시알킬-D3 내지 D6 알킬,하이드로젠사이클로실록산)의 3:2 (wt/wt) 혼합물이었으며, 여기서, 알킬렌-다이알킬실록사닐-알킬렌 링커를 통하여 서로에게 연결된 2개의 비스(알파,오메가-글리시독시알킬-D3 내지 D6 오르가노,하이드로젠사이클로실록사닐 모이어티가 있다.
- [0135] 촉매 (CAT1)는 셸-코어 입자 형태의 미세캡슐화된 백금 촉매였으며, 여기서, CAT1은 0.008 중량%의 Pt를 함유하고, 캡슐화제 또는 셸은 경화된 비닐-말단화된 폴리다이메틸실록산이고, 코어는 백금-리간드 착물을 포함하였다.
- [0136] 실리카 유리비드 (SGB1)는 최대 직경이 75 내지 90 μm 이고 비중이 2.3 내지 2.7인 중실 구형 소다-석회 유리 입자였다.
- [0137] 본 발명의 비제한적 실시예가 뒤따른다. 이 실시예는 일부 특정 실시 형태 및 전술한 이점을 예시한다. 본 발명은 실시예의 어느 하나의 제한을 포함하는 추가의 실시 형태를 제공하며, 이로써 상기 제한은 특허청구범위를 보정하기 위한 기반으로서의 역할을 할 수 있다.
- [0138] 제조 방법: 실시예의 경화성 실리콘 조성물은 비닐-작용화된 폴리다이메틸실록산 1과, 다중벽CNT 또는 유도된 CNT 중 어느 하나를 혼합하여 마스터 배치 (MB1)를 형성함으로써 제조하였다. MB1을 형성하기 위한 혼합은 엑삭트(EXAKT) 3-롤 밀 (모델 번호: 80E, 엑삭트 어드밴스드 테크놀로지(Exakt Advanced Technology))을 이용하여 30 rpm에서 5 내지 70 μm 갭을 이용하여 5회 패스(pass)로 행하였다. 0.5 리터 유성 혼합기 (미국 펜실베이니아주 플러트우드 소재의 커스텀 밀링 앤드 컨설팅(Custom Milling and Consulting))의 포트(pot)에, HV1; AP1; Ag1; Ag/Ni-40, Ag/Ni-30, 또는 Ag/Ni-15 중 어느 하나; MB1의 분취물; 추가의 비닐-작용화된 폴리다이메틸실록산 1; 및 사용될 경우, 중실 실리카 유리 비드 (SGB1)를 첨가하고; 생성된 내용물을 혼합하여 전기 전도성 충전제 (Ag1; Ag/Ni-40, Ag/Ni-30, 또는 Ag/Ni-15; 및 MWCNT1 또는 DCNT1 중 어느 하나)를 습윤 및 분산시켜서 전구체 혼합물을 제공하였다. 상기 전구체 혼합물에 사슬 연장제/가교결합제 CE/CL1 (또는 CE/CL1 및 CE/CL2 둘 모두) 및 미세캡슐화된 백금 촉매 (CAT1)를 첨가하고, 부드럽게 혼합하여 가열을 방지하고, 상기 포트를 탈기시켜 실시예 1 내지 실시예 13 중 어느 하나의 경화성 실리콘 조성물을 제공하였다. 하이드로실릴화-경화성 유기실록산 및 이로부터 제조된 경화성 실리콘 조성물의 성분들의 양은 각각 하기 표 1 및 표 2에 열거된 중량% 농도를 제공하도록 선택하였다.

[표 1]

실시예 1 내지 실시예 13의 하이드로실릴화-경화성 유기실록산 조성물

실시예 번호	VFPDMS1 (중량%)	CE/CL1 (중량%)	AP1 (중량%)	CAT1 (중량%)
1	74.3	4.33	7.11	14.3
2	73.1	4.52	7.43	14.9
3	74.3	4.33	7.11	14.3
4	74.3	4.31	7.15	14.3
5	74.3	4.55	7.15	14.3
6	73.8	4.27	7.48	14.3
7	74.3	4.33	7.11	14.3
8	74.3	4.33	7.11	14.3
9	74.3	4.33	7.11	14.3
10	74.3	4.33	7.11	14.3
11	74.3	4.33	7.11	14.3
12	74.3	4.33	7.11	14.3
13	74.3	4.30	7.14	14.3

[0140]

[0141] [표 2]

실시에 1 내지 실시에 13의 경화성 실리콘 조성물

실시에 번호	Ag1 (중량%)	Ag/Ni (중량%)	CNT (중량%)	탄화수소 비히클 (중량%)	유기실록산* (중량%)	기타 (중량%)
1	50.0	Ag/Ni-40 (18.0)	DCNT1 (2.0)	HV1 (6.7)	23.3	없음
2	51.0	Ag/Ni-30 (19.1)	MWCNT1 (0.90)	HV1 (6.7)	22.3	없음
3	50.0	Ag/Ni-30 (19.1)	MWCNT1 (0.90)	HV1 (6.7)	23.3	없음
4	50.0	Ag/Ni-40 (18.0)	DCNT1 (1.5)	HV1 (10.0)	19.0	SGB1 (1.5)
5	50.0	Ag/Ni-40 (18.0)	DCNT1 (1.0)	HV1 (10.0)	20.0	SGB1 (1.0)
6	51.0	Ag/Ni-30 (19.1)	MWCNT1 (0.80)	HV1 (10.0)	17.0	SGB1 (2.1)
7	50	Ag/Ni-15 (19.0)	MWCNT1 (1.0)	HV1 (6.7)	23.0	없음
8	50	Ag/Ni-30 (19.5)	MWCNT1 (0.50)	HV1 (6.7)	23.4	없음
9	50	Ag/Ni-30 (19.2)	MWCNT1 (0.80)	HV1 (6.7)	23.4	없음
10	50	Ag/Ni-30 (18.9)	MWCNT1 (1.10)	HV1 (6.7)	23.4	없음
11	50	Ag/Ni-30 (18.2)	MWCNT1 (1.70)	HV1 (6.7)	23.4	없음
12	50	Ag/Ni-30 (18.0)	MWCNT1 (2.00)	HV1 (6.7)	23.4	없음
13	50	Ag/Ni-40 (20.0)	DCNT1 (1.0)	HV1 (6.4)	22.6	없음

*달리 나타내지 않으면 표 1을 참조.

[0142]

[0143]

실시에 1 내지 실시에 13의 경화성 실리콘 조성물 (CSC)은 요변 지수, 전체 은 농도, 전체 전기 전도성 금속 농도에 의해 직접적으로 특징지워질 수 있고, 탄화수소 비히클 HV1 전부를 경화 동안 제거하였다면, 은의 이론적 농도, 접착성, 및 체적 저항률에 의해 생성된 ECSA를 간접적으로 특징으로 할 수 있다. 이러한 특성 확인을 하기 표 3에 나타낸다.

[0144]

[표 3]

실시에 1 내지 실시에 13의 경화성 실리콘 조성물 (CSC)의 직접적 및 간접적 특성화

실시에 번호	CSC TI (η_1/η_{10})	CSC의 총 [Ag] (중량%)	ECSA ρ ($\mu\text{-cm}$)	ECSA의 이론적 총 [Ag] (중량%)	전체 전기 전도성 금속 (중량%)
1	5.17	57.2	0.000563	61.3	68.0
2	5.48	56.7	0.000616	60.8	71.0
3	5.25	55.7	0.000796	59.7	69.1
4	N/d	57.2	0.000164	63.6	68.0
5	N/d	57.2	0.000447	63.6	68.0
6	N/d	56.5	0.000150	63.0	70.1
7	5.3	52.9	0.000808	56.7	69.0
8	3.8	55.9	0.000795	59.9	69.5
9	4.9	55.8	0.000827	59.8	69.2
10	6	55.7	0.000789	59.7	68.9
11	8.6	55.5	0.000862	59.5	68.2
12	9	55.4	0.000812	59.4	68.0
13	3.8	58.0	0.000485	62.0	70.0

CSC = 경화성 실리콘 조성물; ECSA = 전기 전도성 실리콘 접착제; [Ag] = 은의 농도; N/d = 측정되지 않음.

[0145]

[0146]

전술한 실시예에 의해 예시되고 상기에 기재된 바와 같이, 경화성 실리콘 조성물의 요변 지수는 전체 은 농도를 50 내지 60 중량% 미만의 범위로 유지하고 전체 전기 전도성 금속 농도를 72 중량% 미만으로 유지하면서 3 내지 10의 범위로 조정될 수 있으나, 생성된 ECSA의 체적 저항률은 0.001 $\mu\text{-센티미터}$ 미만으로 남아 있다. 이러한 조정은 탄소 나노튜브의 농도를 0 초과 내지 5.0 중량%, 예를 들어 0.4 내지 2.2 중량% 또는 0.50 내지 2.0 중량%, 대안적으로 이의 전술한 범위들 중 어느 하나의 범위 내에서 변화시킴으로써 실시될 수 있다. 일부 실시 형태에서, 경화성 실리콘 조성물의 요변 지수는 전체 은 농도를 53 내지 58 중량% (예를 들어, 52.9 내지 58.1 중량%)의 범위로 유지하면서 4 내지 9 (예를 들어, 3.8 내지 9)의 범위로 조정할 수 있으며, 전체 전기 전도성 금속 농도는 68.0 내지 71.0 중량%인 한편 경화성 실리콘 조성물은 0.00090 $\mu\text{-cm}$ 미만, 대안적으로 0.00080 $\mu\text{-cm}$ 미만, 대안적으로 0.00070 $\mu\text{-cm}$ 미만, 대안적으로 0.00065 $\mu\text{-cm}$ 미만, 대안적으로 0.00050 $\mu\text{-cm}$ 미만, 대안적으로 0.00020 $\mu\text{-cm}$ 미만의 체적 저항률을 갖는 ECSA로 경화가 가능한 채로 있다. 이러한 후자의 조정은 탄

소 나노튜브의 농도를 0.4 내지 2.2 중량% (예를 들어, 0.50 내지 2.0 중량%)의 범위 내에서 변화시킴으로써 실시할 수 있다. 전술한 중량%는 경화성 실리콘 조성물의 중량을 기준으로 한다. 본 발명의 방법의 실시 형태는 그러한 조정, 범위 및 값을 포함한다. 예를 들어, 경화성 실리콘 조성물은 52.9 내지 58.1 중량%의 전체 은 농도; 68.0 내지 71.0 중량%의 전체 전기 전도성 금속 농도; 0.4 내지 2.2 중량%, 대안적으로 0.50 내지 2.0 중량%의 탄소 나노튜브 농도; 3.8 내지 9의 요변 지수; 및 0.00010 내지 0.00090 옴-cm, 대안적으로 0.00014 내지 0.00087 옴-cm의 체적 저항률의 조합을 특징으로 할 수 있다. ECSA 조성물을 이로부터 제조할 수 있다.

[0147]

하기 특허청구범위는 "청구항(들)"이 "태양(들)"로서 제기되는 경우를 제외하고는 상응하게 넘버링된 태양들로서 본 명세서에 참고로 포함된다. 청구항 3 내지 청구항 5에서와 같이, 태양 3 내지 태양 5 각각은 그의 각각의 "여기서"(wherein)라는 제한들 각각을 포함하도록 기재된다. 각각의 "여기서"라는 제한 대신 추가의 태양이 각각의 "여기서"라는 제한들 중 임의의 하나 이상만큼 적은 것을 포함할 수 있다는 것을 제외하고는 태양 3 내지 태양 5와 동일한 추가 태양이 본 명세서에 또한 포함된다. 태양 2 내지 태양 8은 태양 1의 실시 형태이다. 본 발명은 그러한 넘버링된 태양 1 내지 태양 16을 포함한다. 일부 실시 형태에서, 본 발명은 생성된 태양 1 내지 16 중 어느 하나, 대안적으로, 경화성 실리콘 조성물 및 이로부터 제조된 ECSA가 $K \geq 1.0 \times 10^4$ S/m, 대안적으로, $K \geq 1.0 \times 10^5$ S/m, 대안적으로 $K \geq 1.0 \times 10^6$ S/m인 전기 전도도 (K)를 특징으로 하는 생성된 태양 1 내지 태양 16 중 어느 하나이다.