

Синтез и реакции органических соединений, содержащих связь Те — элемент 14-й группы

И.Д.Садеков

Научно-исследовательский институт физической и органической химии

Ростовского государственного университета

344090 Ростов-на-Дону, просп. Стачки, 194/2, факс (863) 243–4667

Систематизированы и обобщены сведения по синтезу и реакциям органических соединений, содержащих связи Те — элемент 14 группы. Представлены данные по использованию этих веществ для получения элементоорганических соединений, комплексов с теллурорганическими лигандами, теллурсодержащих кластеров и теллуридов металлов.

Библиография — 99 ссылок.

Оглавление

I. Введение	113
II. Синтез и реакции соединений $R^1TeER_3^2$ ($E = Si, Ge, Sn, Pb$)	113
III. Методы получения и реакции соединений $(R_3E)_2Te$	117
IV. Другие типы нециклических соединений со связью Те — Е	122
V. Циклы, содержащие связи Те — Е	122
VI. Заключение	123

I. Введение

В принципе, возможно существование четырех типов истинных (содержащих по меньшей мере одну связь Те — С) теллурорганических соединений с элементами 14-й группы — $(R^1Te)_4E$, $(R^1Te)_3ER^2$, $(R^1Te)_2ER_2^2$ и $R^1TeER_3^2$ ($R^1 = Alk, Ar$; $R^2 = H, Alk, Ar$; $E = Si, Ge, Sn, Pb$). Наиболее изученными из них являются теллуриды $R^1TeER_3^2$. Соединения $(TeR)_4E$ до сих пор не описаны, а остальные два типа представлены единичными примерами. Производные $(R_3E)_2Te$, методы получения и реакции которых близки к таковым для теллуридов $R^1TeER_3^2$, также рассмотрены в данном обзоре.

Интерес к соединениям $R^1TeER_3^2$ и $(R_3E)_2Te$ обусловлен тем, что они, особенно в последнее время, находят все большее применение для синтеза органических и неорганических производных теллура. Перфторалкил(триметилстаннил)теллуриды $(R_FTeSnMe_3)$ используют для получения теллуорокетонов и неизвестных ранее теллурациклов.^{1–3} Соединения $R^1TeER_3^2$ применяют в качестве синтетических эквивалентов органилтеллурилат-анионов RTe^- , легко окисляющихся на воздухе и используемых только *in situ*.^{4–9} С помощью соединений этого типа был осуществлен с высокими выходами синтез арилметилтеллуридов,⁸ арилтеллурибензоатов⁹ и арилтеллуриформатов.^{6,7} Трифенилгермилные производные и их станильные аналоги — $ArTeEPh_3$

($E = Ge, Sn$) — удобные исходные вещества для получения теллурилатов металлов $(ArTe)_nM$ (M — металл),⁴ а $BuTeSiMe_3$ используют для синтеза теллурсодержащих кластеров.⁵ Особое внимание привлекает реакция бис(триалкилсилил)теллуридов с некоторыми элементоорганическими соединениями, позволяющая осуществлять низкотемпературный синтез важных в практическом отношении теллуридов металлов M_xTe_y .^{10,11}

Другие примеры использования соединений со связью Те — Е для получения органических производных теллура, а также некоторых органических и элементоорганических соединений подробно рассмотрены в разделах, посвященных реакциям теллуридов $R^1TeER_3^2$.

Более ранние данные по синтезу и реакциям соединений $R^1TeER_3^2$ и $(R_3E)_2Te$ содержатся в монографиях^{12–14}.

Пространственно-затрудненные элементоорганические теллуриды типа R_3ETeH ($R = Me_3Si, E = Si, Ge; R = Ph, E = Si$) и теллурилаты олова и свинца $[(Me_3Si)_3SiTe]_2E$ ($E = Sn, Pb$), также имеющие связи Те — Е, являются исходными веществами для низкотемпературного синтеза теллуридов указанных выше металлов и рассмотрены в обзорах^{15,16}.

II. Синтез и реакции соединений $R^1TeER_3^2$ ($E = Si, Ge, Sn, Pb$)

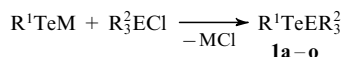
1. Синтез соединений $R^1TeER_3^2$ ($E = Si, Ge, Sn, Pb$)

Наиболее общий метод синтеза соединений $R^1TeER_3^2$ (1), который позволяет получать производные с любым элементом Е, основан на взаимодействии теллурилатов щелочных металлов R^1TeM с хлоридами R_3^2ECl .^{4,5,17–19} Теллурилаты лития обычно получают внедрением теллура по связи $C–Li$

И.Д.Садеков. Доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией теллурорганических соединений НИИФОХ РГУ. Телефон: (863) 228–0894, e-mail: sadek@ipoc.rnd.runnet.ru. Область научных интересов: синтез, строение и реакционная способность теллурорганических соединений.

Дата поступления 30 июля 2001 г.

алкил(арил)литиев;^{5, 17–19} теллуrolыты натрия генерируют восстановлением диарилдителлуридов либо щелочным раствором боргидрида натрия в смеси PhH–EtOH,^{4, 19} либо металлическим натрием в ТГФ.¹⁸ Выходы соединений **1** составляют обычно 60–80% (лишь для *n*-метоксифенил(трифенилгермил)теллурида (**1g**) выход равен 23%).⁴ Побочными продуктами при синтезе алкил(триметилсилил)теллуридов **1a,b** являются бис(триметилсилил)теллурид и соответствующие диалкилдителлуриды.^{5, 17} Этим способом не удалось получить Ph₃SiTePh.⁴

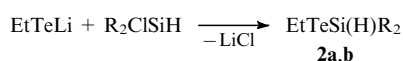


M = Li, Na.

Соединение 1	E	R ¹	R ²	Ссылки
a	Si	Me	Me	17
b	Si	Bu	Me	5
c	Si	Ph	Me	17–19
d	Ge	Ph	Me	19
e	Ge	Ph	Ph	4, 19
f	Ge	Ph	4-MeC ₆ H ₄	4
g	Ge	4-MeOC ₆ H ₄	Ph	4
h	Sn	Ph	Me	19
i	Sn	Ph	Ph	4, 19
j	Sn	Ph	4-MeC ₆ H ₄	4
k	Sn	Ph	4-MeOC ₆ H ₄	4
l	Pb	Ph	Ph	4, 19
m	Pb	Ph	4-BrC ₆ H ₄	4
n	Pb	Ph	4-MeC ₆ H ₄	4
o	Pb	Ph	4-MeOC ₆ H ₄	4

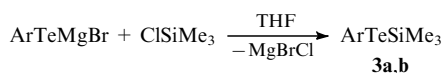
Силильные производные **1a–c** представляют собой светло-желтые жидкости с неприятным запахом; их аналоги, содержащие более тяжелые элементы 14 группы, являются бесцветными или светло-желтыми твердыми соединениями, хорошо растворимыми в обычных органических растворителях.

Взаимодействием этилтеллуrolыты лития с хлорсиланами синтезированы силильные производные **2a,b**, содержащие при атоме кремния алкильные группы и атом водорода.²⁰



R = Me (**a**), Et (**b**).

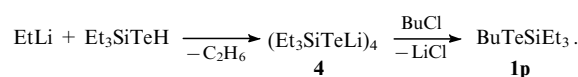
Арил(триметилсилил)теллуриды **3a,b** могут быть получены с выходами 30–40% обработкой арилмагнийбромтеллуrolытов триметилхлорсиланом в ТГФ.^{21, 22}



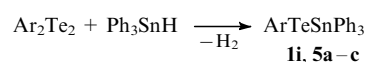
Ar = Ph (**a**, 40%), 4-MeC₆H₄ (**b**).

По данным работы²¹, наряду с соединением **3a** были выделены (Me₃Si)₂Te и Me₃SiO(CH₂)₄TePh с выходами 10 и 45% соответственно. Последний образуется, вероятно, за счет раскрытия тетрагидрофуранового цикла под действием триметилхлорсилана и реакции образовавшегося Me₃SiO(CH₂)₄Cl с PhTeMgBr.

Еще один подход к синтезу соединений **1** представлен единичным примером. Этот способ основан на взаимодействии литиевых производных R₃ETeLi с алкилгалогенидами. Так, бутил(триэтилсилил)теллурид **1p** получен²³ с выходом 79% обработкой тетрамерного триэтилсилилтеллуrolыты лития (**4**) бутилхлоридом. Соединение **4** синтезируют из этиллития и соответствующего теллуrolа.²³



С помощью реакций диорганидителлуридов^{1–3, 24} и диорганидтеллуридов^{6, 7, 25–27} с элементоорганическими гидридами можно получать теллуриды **1**, содержащие атомы Si, Ge и Sn. Этот метод по своему синтетическому потенциалу уступает методу, основанному на реакции теллуrolытов щелочных металлов с хлоридами R₃ECI и его используют главным образом для получения органил(триорганилстаннил)теллуридов **1** (E = Sn). Взаимодействие диарилдителлуридов с трифенилстаннаном протекает в мягких условиях (нагревание смеси реагентов при 60–70°C в отсутствие растворителя) и приводит к арил(трифенилстаннил)теллуридам **1i**, **5a–c** с выходами 50–70%.²⁴



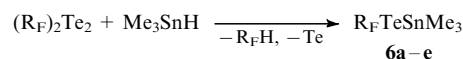
1i, **5a–c**

Ar = Ph (**1i**), 4-MeOC₆H₄ (**5a**), 4-EtOC₆H₄ (**5b**), 4-PhOC₆H₄ (**5c**).

При использовании трибутилстаннана вместо трифенилстаннана индивидуальных веществ, подобных соединениям **5**, выделено не было. Однако в масс-спектрах маслообразных продуктов реакции присутствуют молекулярные пики, отвечающие арил(трибутилстаннил)теллуридам ArTeSnBu₃.²⁴

Реакцией бис(перфторалкил)дителлуридов с триметилстаннаном осуществлен синтез перфторалкил(триметилстаннил)теллуридов **6a–e**.^{1–3} Так, триметилстаннил(трифторметил)теллурид **6a** получен с выходом ~90% при отогревании смеси (CF₃)₂Te₂ и Me₃SnH (мольное соотношение 1 : 3) в диэтиловом эфире от –196 до 0°C (см.¹).

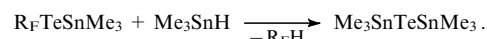
Примерно в тех же условиях синтезированы соединения **6b–e**.^{2, 3} По данным работ^{2, 3}, при взаимодействии соответствующих дителлуридов с Me₃SnH (мольное соотношение реагентов 1 : 1) наряду с перфторалкил(триметилстаннил)теллуридами образуются перфторированные углеводороды и Te.



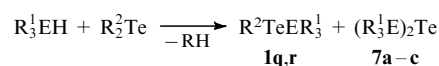
6a–e

R_F = CF₃ (**a**), C₂F₅ (**b**), (CF₃)₂CF (**c**), C₃F₇ (**d**), C₄F₉ (**e**).

Следует отметить, что при мольном соотношении дителлурид : Me₃SnH = 1 : 2 выходы соединений **6** существенно понижаются вследствие их взаимодействия с Me₃SnH.²



Реакции диорганидтеллуридов с элементоорганическими гидридами протекают с разрывом одной или двух связей C–Te, что приводит к соединениям **1** или бис(триорганилсилил(гермил или станнил)теллуридам (R₃E)₂Te **7**. В некоторых случаях образуется смесь веществ обоих типов. Основное влияние на направление реакций оказывает природа взаимодействующих субстратов. В случае диалкилтеллуридов определяющую роль играет природа гидридов R₃EH, реакционная способность которых возрастает в последовательности E = Si < Ge < Sn. При взаимодействии триэтилсилана с диэтилтеллуридом (200°C, 7 ч) образуется смесь соединений **1q** и **7a** с выходами 12 и 55% соответственно. Реакция триэтилгермана с тем же теллуридом (140°C, 7 ч) приводит к смеси соединений **1r** и **7b** с сопостав-

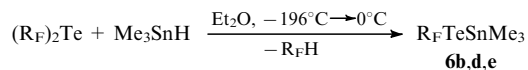


1q,r **7a–c**

R¹ = R² = Et; E = Si (**1q**, **7a**), Ge (**1r**, **7b**), Sn (**7c**).

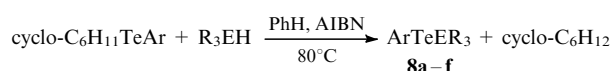
имыми выходами (39 и 59%), тогда как в случае триэтилстаннана даже при 20°C образуется только теллурид **7c**.^{25, 26}

В отличие от диалкилтеллуридов, взаимодействие бис(перфторалкил)теллуридов с триметилстаннана (мольное соотношение 1 : 1) приводит только к перфторалкил(триметилстаннил)теллуридам **6b, d, e** с выходами 50–65%.^{2, 3}



$R_F = C_2F_5$ (**b**), C_3F_7 (**d**), C_4F_9 (**e**).

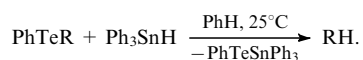
При обработке арил(циклогексил)теллуридов гидридами R_3EH независимо от природы последних разрывается только связь $C_{sp^3} - Te$. Так, теллуриды **8a–f** получены нагреванием смеси эквивалентных количеств реагентов в бензоле в присутствии каталитических количеств азодиизобутиронитрила (AIBN).^{6, 7, 27, 28} Соединения **8** не выделяли вследствие их нестабильности и использовали в последующих превращениях (см. раздел II.2) *in situ*.



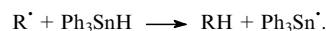
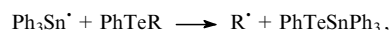
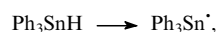
Соединение 8	Ar	E	R	Ссылки
a	Ph	Si	Me_3Si	6, 7, 28
b	4- FC_6H_4	Si	Me_3Si	6, 7, 28
c	Ph	Ge	Bu	28
d	4- FC_6H_4	Ge	Bu	28
e	Ph	Sn	Bu	27
f	4- FC_6H_4	Sn	Bu	28

В отличие от трис(триметилсилил)силана, трифенилсилан не расщепляет связи $C - Te$ в арил(циклогексил)теллуридах.²⁸

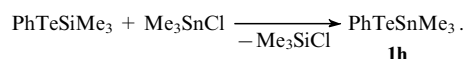
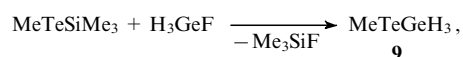
Следует отметить, что задолго до работ^{6, 7, 27, 28} реакция алкил(циклоалкил)фенилтеллуридов с трифенилстаннана была рекомендована в качестве препаративного метода синтеза алканов(циклоалканов),²⁹ которые получались с высокими выходами.



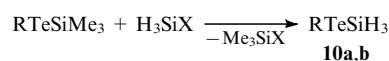
Реакция, вероятно, идет по радикальному механизму:²⁹



Для получения гермийного (**9**) и станильного (**1h**) производных были использованы обменные реакции органил(триметилсилил)теллуридов с соответствующим фторгерманием или хлорстаннана.¹⁷ Выходы конечных продуктов близки к количественным.



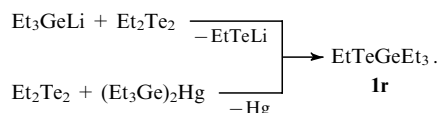
Подобную реакцию использовали для получения органил(силил)теллуридов **10a, b**.¹⁷



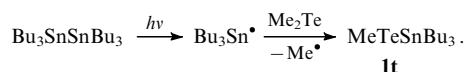
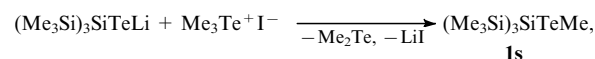
$R = Me$ (**a**), Ph (**b**); $X = Br, I$.

Попытки синтеза соединения типа **10** взаимодействием метил(фенил)теллуrolята лития с $BrSiH_3$ были безуспешны; единственным продуктом реакции являлся бис(силил)теллурид $(H_3Si)_2Te$.¹⁷

Другие реакции, приводящие к соединениям **1**, представлены единичными примерами. Так, этил(триэтилгермил)теллурид (**1r**) получен с выходом 89% реакцией диэтилдителлурида с триэтилгермилитием²⁰ и с выходом 73% из того же дителлурида и бис(триэтилгермил)ртути.³⁰



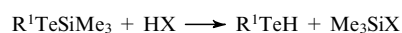
Метил[трис(триметилсилил)силил]теллурид (**1s**) синтезирован обработкой трис(триметилсилил)силилтеллуrolята лития иодидом триметилтеллуруния.³¹ Фотолиз смеси гексабутилдистаннана и диметилтеллурида приводит к метил(трибутилстаннил)теллуриду (**1t**).³²



2. Реакции соединений $R^1TeER_3^2$ ($E = Si, Ge, Sn, Pb$)

Реакции соединений **1** изучены в основном на примерах силильных и станильных производных. Некоторые из этих реакций являются важными препаративными методами получения различных теллурурганических соединений, в том числе тех, которые находят применение в синтетической органической химии.

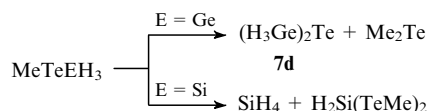
Связь $Te - Si$ в органил(триорганисилил)теллуридах легко расщепляется под действием галогеноводородных кислот, спиртов и воды, что приводит к органилтеллуrolам и галогенсиланам, алкоксисиланам или силоксанам соответственно.¹⁷



$R^1 = Me, Ph; X = Br, I, OAlk, OH.$

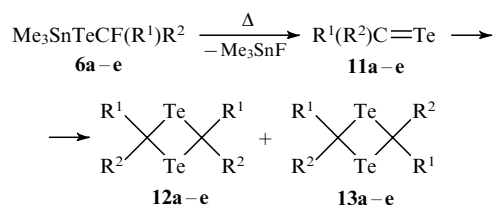
Фенилтеллуrol, используемый *in situ*, проявляет сильные восстановительные свойства.^{33–35} Известно несколько методов синтеза этого соединения: метанолиз фенил(триметилсилил)теллурида,^{33–35} восстановление дифенилдителлурида фосфорноватистой кислотой или боргидридом натрия.³³ Из них наиболее удобен первый метод. Генерированный таким образом фенилтеллуrol восстанавливает в бензоле или хлороформе нитросоединения в амины,^{33, 34} алкены и алкины в алканы,³⁴ альдегиды и кетоны в спирты;³⁴ восстановление карбонильных соединений в спиртах в присутствии каталитических количеств ZnI_2 приводит к простым эфирам.³⁵ Реакции протекают в мягких условиях и с высокими выходами.

Соединения **1** легко вступают в реакции диспропорционирования. Так, метил(гермил)теллурид диспропорционирует на ди(гермил)теллурид (**7d**) и диметилтеллурид, тогда как при диспропорционировании метил(силил)теллурида образуются бис(метилтеллуро)силан и силан.¹⁷



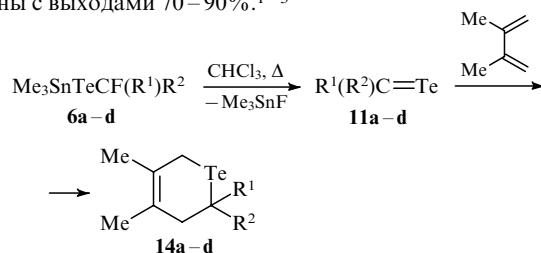
Диспропорционирование метил(триметилстаннил)теллурида (при длительном хранении или облучении светом с длиной волны 488 нм) протекает по той же схеме, что и в случае метил(гермил)теллурида; продуктами реакции являются бис(триметилстаннил)теллурид и диметилтеллурид.¹⁷

Совершенно по-иному идет реакция пиролиза перфторалкил(триметилстаннил)теллуридов **6**.¹⁻³ Ее продуктами являются триметилфторостаннан и теллурокетоны **11**, которые легко димеризуются в производные 1,3-дителлуретана **12**, **13**.¹⁻³



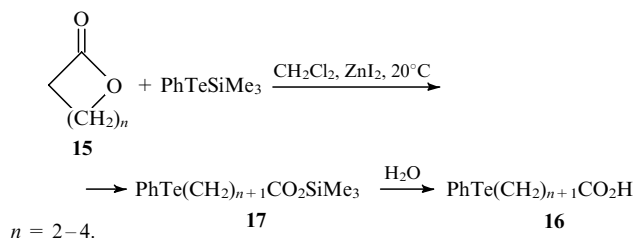
R¹ = R² = F (a); R¹ = F, R² = CF₃ (b); R¹ = R² = CF₃ (c);
R¹ = F; R² = C₂F₅ (d), C₃F₇ (e).

При нагревании растворов теллуридов **6a-d** в хлороформе в присутствии большого избытка 2,3-диметилбутадиена первоначально образующиеся теллурокетоны **11a-d** вступают в реакцию [4 + 2]-циклоприсоединения.¹⁻³ Производные 3,6-дигидро-4,5-дителлителлурина **14a-d** выделены с выходами 70–90%.¹⁻³



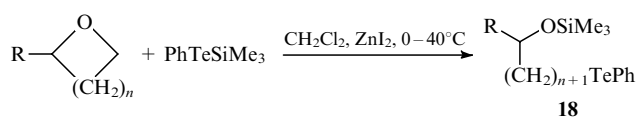
R¹ = R² = F (a); R¹ = F, R² = CF₃ (b); R¹ = R² = CF₃ (c);
R¹ = F, R² = C₂F₅ (d).

Триметилсилил(фенил)теллурид в мягких условиях (дихлорметан, 20°C) в присутствии каталитических количеств ZnI₂ расщепляет циклы лактонов и простых эфиров с образованием продуктов С-теллурирования и О-силилирования.¹⁸ Так, из лактонов **15** и PhTeSiMe₃ получают кислоты **16** с выходами, превышающими 80%. Интермедиатами в этих реакциях являются О-триметилсилиловые эфиры **17**, которые гидролизуются при обработке реакционных смесей.



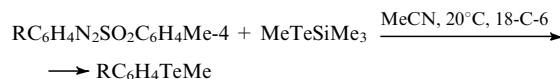
Триметилсилил(фенил)теллурид значительно превосходит по реакционной способности родственные соединения серы и селена. Раскрытие лактонных циклов под действием теллурида протекает при 20°C (PhSSiMe₃ реагирует при 70°C,³⁶ а PhSeSiMe₃ — при 80–100°C).³⁷

Так же легко под действием триметилсилил(фенил)теллурида расщепляются циклы в оксиранах и других циклических эфирах с образованием триметилсилоксизамещенных теллуридов **18**.¹⁸ Описаны и другие примеры подобных реакций.¹⁸



R = Me, Et, n = 0; R = H, n = 1–4; R = Me, n = 2.

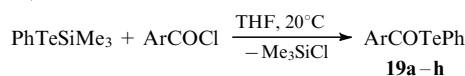
Органил(триметилсилил)теллуриды RTeSiMe₃ являются синтетическими эквивалентами органилтеллурилат-анионов RTe[–] (см.⁴⁻⁹), причем в ряде случаев применение теллуридов дает лучшие результаты по сравнению с теллуриатами щелочных металлов. Так, взаимодействием MeTeSiMe₃, генерированного *in situ* (из MeTeLi и Me₃SiCl), с арилазо-сульфонами в MeCN, содержащем каталитическое количество 18-краун-6, синтезированы арилметилтеллуриды с выходами 36–62%.⁸



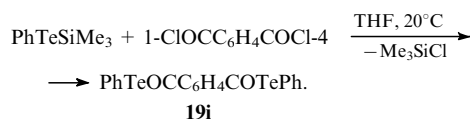
R = H, 4-Br, 4-COMe, 2-CO₂Me.

Использование в этой реакции MeTeLi, который получают из MeLi и Te в ТГФ, не приводит к арилметилтеллуридам. В ТГФ реакция деазосульфирования не идет, а при замене ТГФ на MeCN образуется смесь диметилтеллурида и диметилдителлурида, инертных по отношению к арилазо-сульфонам.⁸

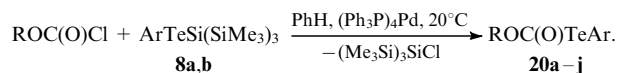
Триметилсилил(фенил)теллурид в мягких условиях (ТГФ, 20°C) реагирует с ароилхлоридами с образованием фенилтеллуробензоатов **19a-i** (выход 62–91%).⁹ Преимущества этого способа синтеза соединений **19a-i** по сравнению с классическим, основанным на использовании теллуорофенолятов натрия,³⁸ заключаются в более высоких выходах получаемых эфиров, а также простоте их выделения из реакционных смесей.



Ar = 4-ClC₆H₄ (a), 3-ClC₆H₄ (b), 4-BrC₆H₄ (c), 4-NO₂C₆H₄ (d), 4-NCC₆H₄ (e), Ph (f), 4-MeC₆H₄ (g), 4-MeOC₆H₄ (h).

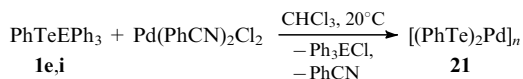


Арил[трис(триметилсилил)сил]теллуриды **8a,b**, используемые *in situ*, взаимодействуют с хлорформатами только в присутствии каталитических количеств тетраakis(трифенилфосфин)палладия(0), образуя арилтеллуороформаты **20a-j** (о применении соединений **20a-j** в качестве предшественников оксиацильных и алкильных радикалов см.^{39,40}). Синтез арилтеллуороформатов **20e,j**, содержащих при эфирном атоме кислорода фенильный радикал, был осуществлен^{6,7} лишь при использовании соединений **8a,b**. Взаимодействием хлорформатов с теллуорофенолятом натрия арилтеллуороформаты **20e,j** получить невозможно.^{6,7}



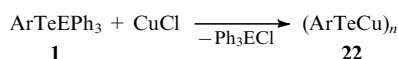
Соединение 20	Ar	R	Соединение 20	Ar	R
a	Ph	Me	f	4-FC ₆ H ₄	Me
b	Ph	Pr ⁱ	g	4-FC ₆ H ₄	Pr ⁱ
c	Ph	cyclo-C ₆ H ₁₁	h	4-FC ₆ H ₄	cyclo-C ₆ H ₁₁
d	Ph	C ₈ H ₁₇	i	4-FC ₆ H ₄	C ₈ H ₁₇
e	Ph	Ph	j	4-FC ₆ H ₄	Ph

Соединения **1** реагируют с галогенидами некоторых металлов с образованием теллуридов соответствующих металлов. Так, при взаимодействии фенил(трифенилгермил(станнил))теллуридов **1e,i** с бензонитрильным комплексом хлорида палладия(II) элиминируется Ph_3ECl и образуются красно-коричневые теллуриды палладия **21**, имеющие, вероятно, полимерное строение.⁴



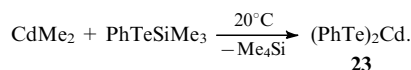
E = Ge (**1e**), Sn (**1i**).

Реакция соединений **1** с CuCl в хлороформе⁴ или ацетонитриле⁴¹ дает полимерные теллуриды меди(I) **22**.

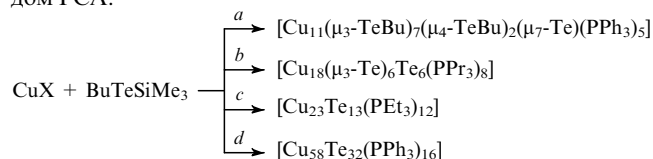


E = Ge, Sn, Pb; Ar = Ph, 4-EtOC₆H₄.

Теллуриды металлов образуются также при использовании триметилсилил(фенил)теллурида в качестве источника лиганда PhTe. Так, реакцией этого соединения с диметилкадмием в CH_2Cl_2 получен теллурифенолят кадмия(II) (**23**).¹⁰

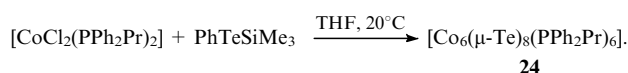


Взаимодействие органил(триметилсилил)теллуридов, в частности BuTeSiMe_3 , с солями меди(I) приводит к теллуридам, содержащим кластеры, которые охарактеризованы методом PCA.⁵

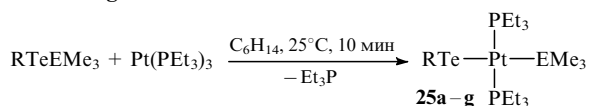


X = Cl, OAc; a) PPh_3 , ТГФ; b) PPr_3 , диглим; c) PEt_3 , ТГФ; d) PPh_3 , диглим.

Кластер **24** является единственным продуктом реакции триметилсилил(фенил)теллурида с комплексной солью кобальта(II).⁵



Сравнительно недавно⁴² показано, что соединения RTEMe_3 , так же как и $(\text{Me}_3\text{E})_2\text{Te}$ (E = Si, Sn), вступают в реакцию окислительного присоединения с триэтилфосфиновыми комплексами платины $\text{Pt}(\text{PEt}_3)_n$ (n = 3, 4), давая комплексы **25a–g** с выходами 76–100%.

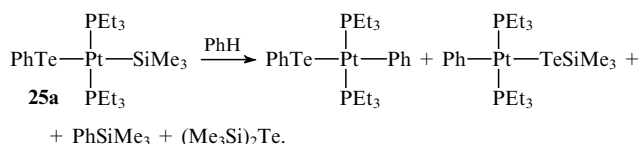


E = Si: R = Ph (**a**), 4- PhC_6H_4 (**b**), Bu (**c**), Me_3Si (**d**);
E = Ge, R = Ph (**e**); E = Sn: R = Ph (**f**), Me_3Sn (**g**).

Строение соединений **25** подтверждено методами спектроскопии ЯМР и PCA (на примере комплекса **25b**).⁴² Они представляют собой твердые красные вещества, стабильные в атмосфере аргона, но крайне чувствительные к кислороду и влаге.⁴²

Реакционная способность триметилсилил(фенил)халькогенидов PhMSiMe_3 (M = S, Se, Te) в этой реакции возрастает в последовательности S < Se < Te. Так, триметилсилил(фенил)сульфид не реагирует с $\text{Pt}(\text{PEt}_3)_3$ даже при пятичасовом нагревании при 50°C, а триметилсилил(фенил)селенид при 25°C взаимодействует с комплексом $\text{Pt}(0)$, но гораздо медленнее, чем его теллуридовый аналог.⁴²

В бензоле комплексы **25** постепенно разлагаются даже при 25°C. В случае соединения **25a** идентифицированы продукты разложения.⁴²



Реакция разложения обратима: добавление в раствор даже одного эквивалента PEt_3 ингибирует этот процесс.⁴²

III. Методы получения и реакции соединений $(\text{R}_3\text{E})_2\text{Te}$

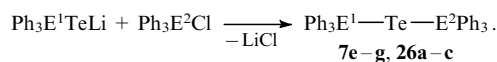
В ряду соединений, содержащих две связи Te—элемент 14-й группы, существуют как симметричные $(\text{R}_3\text{E})_2\text{Te}$ (E — элемент 14 группы) (**7**), так и несимметричные производные типа $\text{R}_3^1\text{E}^1\text{TeER}_3^2$ (**26**). Поскольку способы получения и реакции соединений обоих типов близки, они рассмотрены в одном разделе.

1. Методы получения

В разделе II описаны две реакции, приводящие к теллуридам **7**. Первая из них — взаимодействие гидридов R_3EH с диорганилтеллуридами. В этой реакции в зависимости от природы субстратов образуются соединения **1**, **7** или их смеси.^{25,26} Вторая реакция — диспропорционирование теллуридов **1**.¹⁷

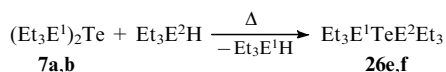
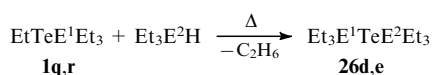
При добавлении Me_3SiCl к эфирному раствору PhTeMgBr образуется бис(триметилсилил)теллурид,⁴³ очевидно, также в результате диспропорционирования PhTeSiMe_3 в условиях реакции. Следует отметить, что взаимодействие тех же реагентов в ТГФ (см. раздел II.1) дает PhTeSiMe_3 .

Общий метод синтеза как симметричных теллуридов **7**, так и несимметричных **26** основан на взаимодействии литийорганических производных $\text{R}_3^1\text{E}^1\text{TeLi}$ с хлоридами $\text{R}_3^2\text{E}^2\text{Cl}$.^{44–48} Однако этот метод используют сравнительно редко: таким путем были синтезированы только фенильные производные, содержащие атомы Ge, Sn и Pb в различных сочетаниях. Эта реакция была использована также для получения бис(трифенилсилил)теллурида.⁴⁹



Соединение	E ¹	E ²	Ссылки
7e	Ge	Ge	46
7f	Sn	Sn	44, 45
7g	Pb	Pb	47
26a	Sn	Ge	46
26b	Sn	Pb	45
26c	Pb	Ge	46

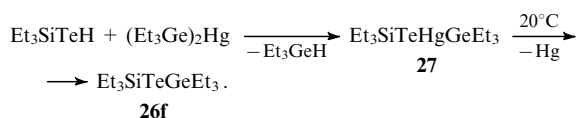
К несимметричным производным **26d–f** приводят также реакции гидридов триэтилола или германия с теллуридами **1q,r** (выходы 60–90%)²⁶ или **7a,b**.⁵⁰



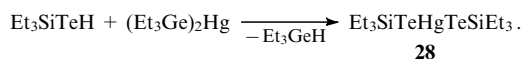
$\text{E}^1 = \text{Si}$ (**1q**, **7a**), Ge (**1r**, **7b**); $\text{E}^1 = \text{Si}$, $\text{E}^2 = \text{Sn}$ (**26d**); $\text{E}^1 = \text{Ge}$, $\text{E}^2 = \text{Sn}$ (**26e**); $\text{E}^1 = \text{Si}$, $\text{E}^2 = \text{Ge}$ (**26f**).

В этих реакциях гидриды по своей активности располагаются в последовательности $\text{E}^2 = \text{Sn} > \text{Ge} > \text{Si}$. Так, при взаимодействии Et_3GeH с $(\text{Et}_3\text{Si})_2\text{Te}$ (235°C , 6 ч) образуются $(\text{Et}_3\text{Ge})_2\text{Te}$ (выход 79%) и Et_3SiH (выход 50%); реакция Et_3SnH с $(\text{Et}_3\text{Ge})_2\text{Te}$ (70°C , 1 ч) приводит к $(\text{Et}_3\text{Sn})_2\text{Te}$ (выход 76%) и Et_3GeH (выход 57%).⁵⁰

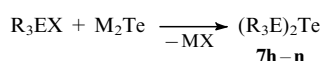
Реакции ртутных производных $(\text{Et}_3\text{E}^1)_2\text{Hg}$ с гидридами $\text{R}_3\text{E}^2\text{TeH}$ также приводят к несимметричным теллуридам **26**,⁵¹ однако этот метод синтеза сравнительно мало изучен. В результате взаимодействия бис(триэтилгермил)ртути с Et_3SiTeH (мольное соотношение 1:1) в мягких условиях (-78°C , 2–3 мин) получается соединение **27**, содержащее фрагмент $\text{Si}-\text{Te}-\text{Hg}-\text{Ge}$, которое легко элиминирует атом ртути, давая несимметричный теллурид **26f**.



Следует отметить, что при мольном соотношении теллурид:производное ртути = 2:1 образуется бис(триэтилсилилтеллурил)ртуть (**28**), которая, в отличие от соединения **27**, термически стабильна и не разлагается даже при 130°C в течение 7 ч.⁵¹



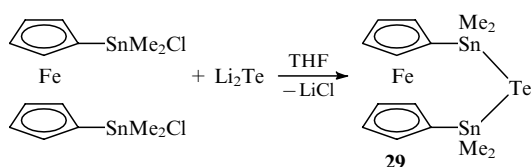
Синтез симметричных теллуридов **7** изучен гораздо лучше по сравнению с их несимметричными аналогами **26**. Наиболее общим методом получения этих соединений является реакция теллуридов натрия⁵² или лития^{21, 53–57} с галогенидами R_3EX . Выходы теллуридов **7** варьируют от очень низких (5%)⁵⁷ до количественных.⁵⁵



$\text{M} = \text{Na}, \text{Li}$.

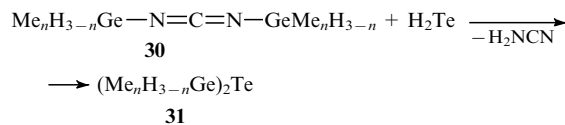
Соединение 7	E	R ₃	Ссылки
h	Si	H ₃	53, 55
i	Si	Me ₃	21, 52–54, 56
j	Si	Bu ^t Me ₂	56
k	Ge	(CF ₃) ₃	57
l	Ge	Me ₃	52
m	Sn	Me ₃	52
n	Pb	Me ₃	52

Реакция 1,1'-бис(хлордиметилстаннил)ферроцена⁵⁸ с теллуридом лития была использована для получения 1,3-дистанна-2-теллура[3]ферроценофана **29** (выход 28%).⁵⁹



Для синтеза бис(трифенилстаннил)теллурида (**7f**) применили гидротеллурид натрия.^{19, 60}

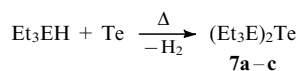
Некоторые дигермилтеллуриды были получены при использовании теллуридов водорода в качестве теллуросодержащего реагента.⁶¹ Так, при отогревании смеси карбодиимидов **30** с избытком H_2Te от -196°C до комнатной температуры образуются бис(гермил)теллуриды **31** с выходами 60–90%.⁶¹



$n = 1-3$.

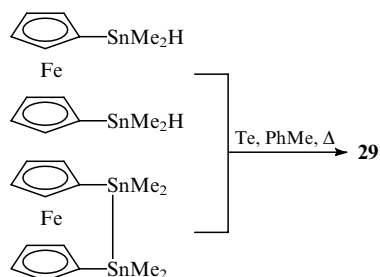
Кремниевые аналоги карбодиимидов **30** в подобную реакцию не вступают.⁶¹

Симметричные теллуриды **7a–c** получены нагреванием гидридов R_3EH с порошкообразным теллуридом.^{26, 50, 62, 63} Как и в приведенных выше случаях, реакционная способность гидридов возрастает в последовательности $\text{E} = \text{Si} < \text{Ge} < \text{Sn}$. Если реакция теллура с Et_3SnH протекает при 130°C ,^{26, 62} а с Et_3GeH — при $190-210^\circ\text{C}$,^{26, 62} то взаимодействие Te с Et_3SiH , приводящее к бис(триэтилсилил)теллуриду **7a** с выходом 71%, осуществимо только при 280°C .^{50, 63}

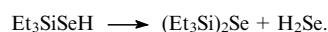


$\text{E} = \text{Si}$ (**a**), Ge (**b**), Sn (**c**).

Реакцией 1,1'-бис(диметилстаннил)ферроцена⁵⁸ с порошкообразным теллуридом синтезирован теллурид **29** (выход 90%);⁵⁹ это же соединение получено с выходом 79% взаимодействием 1,1,2,2-тетраметил-1,2-дистаннил[2]ферроценофана с теллуридом.⁵⁹



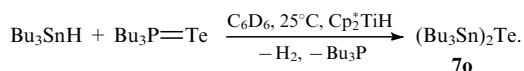
Взаимодействие серы и селена с гидридами R_3EH приводит в зависимости от природы гидрида и халькогена или к элементоорганическим гидрохалькогенидам R_3EMH ($\text{E} = \text{Si}$,^{50, 63} Ge ;²⁶ $\text{M} = \text{S}$,⁶³ Se (см.^{26, 50, 63})), или к их смесям с соединениями $(\text{R}_3\text{E})_2\text{M}$. Устойчивость гидридов R_3EMH возрастает в ряду $\text{M} = \text{Te} < \text{Se} < \text{S}$. Так, при нагревании серы с трифенилсиланом при 200°C единственным продуктом реакции является трифенилсилилтиол Ph_3SiSH (выход 70%),⁶³ а взаимодействие селена с триэтилсиланом (260°C) приводит к смеси Et_3SiSeH (выход 62%) и $(\text{Et}_3\text{Si})_2\text{Se}$ (выход 32%).^{50, 63} Последнее соединение образуется в результате реакции симметризации.⁶³



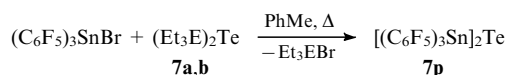
Наименее стабильный из халькогенолов — триэтилсилилтеллурид Et_3SiTeH — симметризуется полностью, тогда как более устойчивый триэтилсилилселенол превращается в бис(триэтилсилил)селенид и H_2Se только на 40%.⁶³

Следует отметить, что по данным работы²⁶ реакция селена с германиями R_3GeH ($\text{R} = \text{Pr}^i$, $\text{cyclo-C}_6\text{H}_{11}$) приводит в основном к гермилселенолам R_3GeSeH .

Вместо металлического теллура в реакциях с триорганил-станилгидридами был использован его синтетический эквивалент — трибутилфосфинтеллурид $\text{Bu}_3\text{P}=\text{Te}$.⁶⁴ Растворимость последнего в органических растворителях позволяет осуществить синтез бис(триорганилстанил)теллуридов (например, бис(трибутилстанил)теллурида **7o**) в мягких условиях в присутствии каталитических количеств (2–10 мол.%) Cr_2^*TiH ($\text{Cr}^* = \text{Me}_5\text{C}_5$). В отсутствие катализатора выход конечного продукта не превышает 2%.⁶⁴

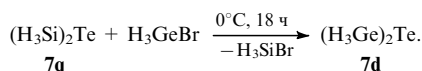


Теллуриды **7** ($\text{E} = \text{Ge}, \text{Sn}$) синтезированы также обменными реакциями соединений **7**, содержащих более легкие элементы 14 группы, с галогенидами R_3EX . Так, бис[трис(пентафторфенил)станил]теллурид **7p** получен с выходами 57 и 51% соответственно взаимодействием бис(триэтилгермил)- (**7b**) или бис(триэтилсилил)теллуридов (**7a**) с $(\text{C}_6\text{F}_5)_3\text{SnBr}$.⁶⁵ Реакция протекает, вероятно, путем постадийного обмена групп Et_3E ($\text{E} = \text{Si}, \text{Ge}$) на $(\text{C}_6\text{F}_5)_3\text{Sn}$ через четырехцентровые переходные состояния.

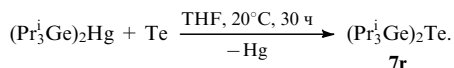


$\text{E} = \text{Si}$ (**a**), Ge (**b**).

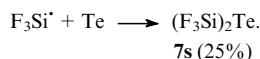
При избытке гермилбромида ди(силил)теллурид (**7q**) количественно превращается в ди(гермил)теллурид (**7d**), очевидно, по этому же механизму.⁵⁵



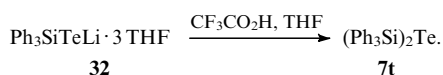
Другие способы получения теллуридов **7** исследованы на единичных примерах, хотя некоторые из них, по-видимому, могут быть использованы для синтеза большего числа соединений. Так, бис(триизопропилгермил)теллурид (**7r**) получен с выходом 78% при взаимодействии бис(триизопропилгермил)ртути с порошкообразным теллуридом.³⁰



Бис(трифторсилил)теллурид (**7s**) синтезирован взаимодействием трифторсилильных радикалов, генерированных разложением гексафтордисилана, с парами теллура в низкотемпературной матрице.^{66, 67}

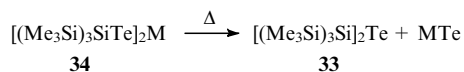


Синтез силильных производных типа **7**, содержащих остатки стерически затрудненных силанов, требует особого подхода. Так, бис(трифенилсилил)теллурид (**7t**) получен протонированием трифенилсилилтеллурида лития (**32**) в ТГФ или окислением этой соли кислородом воздуха.⁴⁹



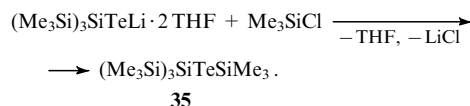
Следует отметить, что окисление трис[(триметилсилил)-силил]теллурида $(\text{Me}_3\text{Si})_3\text{SiTeH}$ или его литиевой соли приводит к дителлуриду $[(\text{Me}_3\text{Si})_3\text{Si}]_2\text{Te}_2$.^{68, 69}

Симметричный теллурид **33** образуется наряду с теллуридами соответствующих металлов при пиролизе теллуридов **34**.¹⁶



$\text{M} = \text{Zn}, \text{Cd}, \text{Sn}, \text{Pb}, \text{Yb}$.

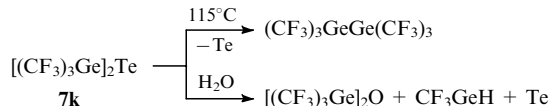
Описанные выше симметричные и несимметричные теллуриды с двумя связями $\text{Te}-\text{E}$ содержат при атомах элементов 14-й группы одинаковые заместители. Пожалуй, единственным соединением с разными заместителями при этих атомах является теллурид **35**,⁶⁹ полученный из трис(триметилсилил)силилтеллурида лития и триметилхлорсилана.



2. Реакции соединений $(\text{R}_3\text{E})_2\text{Te}$ ($\text{E} = \text{Si}, \text{Ge}, \text{Sn}, \text{Pb}$)

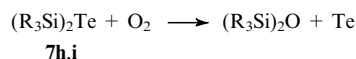
Следует отметить, что значительное число реакций теллуридов **7** и **26** изучено на примерах ограниченного количества соединений, поэтому в ряде случаев трудно судить о том, насколько общий характер имеет та или иная реакция.

Большинство реакций теллуридов **7** (реакции несимметричных производных **26** мало изучены) протекает с элиминированием атома теллура. Гидридные производные $(\text{H}_3\text{E})_2\text{Te}$ светочувствительны и разлагаются даже при комнатной температуре на шероховатых стеклянных поверхностях.⁵³ В то же время бис[трис(трифторметил)гермил]теллурид (**7k**) элиминирует атом теллура лишь при 115°C .⁵⁷ Теллуриды **7**, содержащие алкильные и трифторметильные радикалы, сравнительно легко гидролизуются.⁵⁷



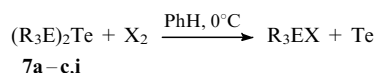
Симметричные (**7e–g**) и несимметричные фенильные производные (**26a–c**) представляют собой термически и гидролитически довольно устойчивые соединения. Их стабильность по отношению к влаге и кислороду возрастает в последовательности $(\text{Ph}_3\text{Ge})_2\text{Te} < (\text{Ph}_3\text{Pb})_2\text{Te}$ и $(\text{Ph}_3\text{Ge})_2\text{Te} < \text{Ph}_3\text{GeTeSnPh}_3 < \text{Ph}_3\text{GeTePbPh}_3$.⁴⁷ Несимметричные алифатические производные $\text{R}_1^1\text{E}^1\text{TeE}^2\text{R}_3^2$ легко диспропорционируют с образованием симметричных теллуридов $(\text{R}_1^1\text{E}^1)_2\text{Te}$ и $(\text{R}_3^2\text{E}^2)_2\text{Te}$.⁷⁰

В теллуридах **7** связи $\text{Te}-\text{E}$ легко разрываются под действием различных окислителей. Так, силильные производные **7h,i** реагируют с кислородом, давая элементный теллур и соответствующий силоксан.⁵³



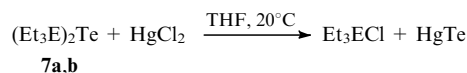
$\text{R} = \text{H}$ (**h**), Me (**i**).

Окисление теллуридов **7** галогенами протекает в мягких условиях и приводит к галогенидам R_3EX (выходы 50–85%) и Te ; в случае станильных производных образуется некоторое количество R_2SnX_2 .^{56, 71}

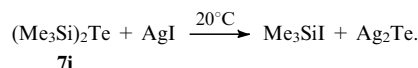


$\text{R} = \text{Et}$; $\text{E} = \text{Si}$ (**a**), Ge (**b**), Sn (**c**); $\text{R} = \text{Me}$, $\text{E} = \text{Si}$ (**i**); $\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$.

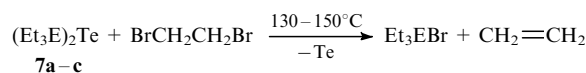
Образование галогенидов R_3EX происходит и при взаимодействии теллуридов **7** с солями $Ag(I)^{43}$ и $Hg(II)$; ⁵¹ наряду с ними получают теллуриды металлов. Следует отметить, что при взаимодействии тех же солей с диорганилтеллуридами R_2Te образуются комплексы состава 1 : 1 или 1 : 2.⁷²



E = Si (a), Ge (b).

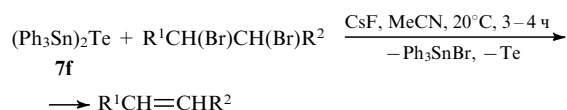


В работе ⁶³ впервые показано, что в соединениях **7** разрыв связей E—Te осуществляется под действием не только свободных галогенов, но и органических дигалогенидов, содержащих достаточно подвижные атомы галогенов. Так, при кипячении этильных производных **7a–c** в 1,2-дибромэтано образуются Et_3EBr , Te и этилен.⁶³ Наиболее легко протекает реакция с бис(триэтилстанил)теллуридом (**7c**).



E = Si (a), Ge (b), Sn (c).

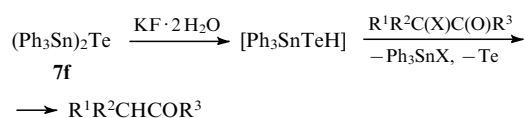
Именно на этой реакции, в частности, основано использование бис(трифенилстанил)теллурида (**7f**) в сочетании с CsF в качестве дегалогенирующего агента ⁷³ для получения олефинов из вицинальных дибромидов.



$R^1 = H$; $R^2 = Ph, Me(CH_2)_7, PhSO_2CH_2$; $R^1 = R^2 = Ph$;
 $R^1 - R^2 = CH_2OCH_2OCH_2$.

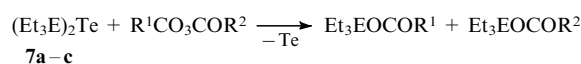
Реакция идет в мягких условиях; олефины в большинстве случаев получают с выходами, близкими к количественным. Так, взаимодействие *мезо*-1,2-дибром-1,2-дифенилэтана с $(Ph_3Sn)_2Te$ приводит к *транс*-стильбену с выходом 94%.⁷³

При замене CsF на $KF \cdot 2H_2O$ теллурид **7f** в мягких условиях ($MeCN, 20^\circ C$) дегалогенирует α -хлор(бром)кетоны.⁷³ При мольном соотношении реагентов **7f**: $KF \cdot 2H_2O$: α -галогенкетон = 1 : 3 : 1 кетоны получают с выходами 60–90%. Вероятный механизм реакции включает промежуточное образование трифенилстанилтеллуrolа.⁷⁴



$R^1 = R^2 = H$; $R^3 = Me, Et, Ph$; $R^1 = Me, R^3 = Ph$; $R^2 = H, Me$;
 $R^1 - R^3 = (CH_2)_4, R^2 = H$.

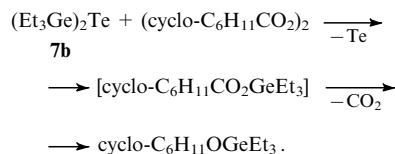
Разрыв связей Te—E в теллуридах **7a–c** легко протекает под действием симметричных и несимметричных пероксидов ацилов.⁷⁵



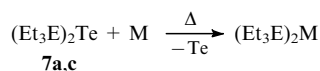
E = Si (a), Ge (b), Sn (c); $R^1 = Ph, R^2 = Ph, Me$.

Продуктами реакции являются элементный Te и триорганилсилильные(гермилльные, станилльные) эфиры соответствующих кислот, выделяемые с высокими выходами.

При взаимодействии бис(триэтилгермил)теллурида (**7b**) с дициклогексилперкарбонатом наряду с Te получают CO_2 и циклогексикситриэтилгерман, очевидно, в результате распада первоначально образующегося триэтилгермилного эфира циклогексанкарбоновой кислоты.⁷⁵

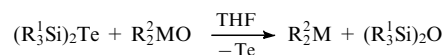


Подобно диарилтеллуридам Ar_2Te ,⁷² теллуриды **7a,c** при нагревании с серой или селеном элиминируют Te и переходят в сульфиды и селениды соответственно.^{50, 63} Как и в реакции с диарилтеллуридами,⁷² сера превосходит по реакционной способности селен. Так, взаимодействие $(Et_3Sn)_2Te$ с серой протекает при $20^\circ C$ (90 ч), тогда как реакция того же теллурида с селеном требует нагревания ($150^\circ C, 30 \text{ ч}$).^{50, 63}



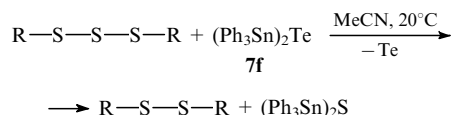
E = Si, M = S; E = Sn: M = S, Se.

Формально к этому же типу реакций относится восстановление диорганилхалькогенокислов бис(триалкилсилил)теллуридами,⁵⁶ которое можно рассматривать как препаративный метод получения халькогенидов из халькогенокислов, поскольку они образуются с высокими выходами (80–100%) и легко отделяются от других продуктов — гексаалкилдисилоксанов и элементного теллура. Следует отметить, что бис(триметилсилил)сульфид и -селенид также довольно эффективны в этой реакции.⁵⁶



$R^1 = Me$; $R^2 = Ph, M = Te$; $R^2 = Me, M = S$;
 $R^1 = Bu^tMe_2$; $R^2 = Ph, M = Se$; $R^2 = Me, M = S$.

На сравнительно легком элиминировании атома Te из соединений **7** основано использование бис(трифенилстанил)теллурида (**7f**) для монодесульфирования органических трисульфидов⁷⁶ и синтеза арил(трифенилстанил)сульфидов.⁷⁷ Органические трисульфиды различных типов (арил-, бензил-, алкил-) легко переходят в соответствующие дисульфиды под действием $(Ph_3Sn)_2Te$. Скорость реакции десульфирования возрастает по мере повышения полярности растворителя.



$R = FC_6H_4, MeC_6H_4, Bn, PhCHMe, Me(CH_2)_2$.

Другие бис(трифенилстанил)халькогениды $(Ph_3Sn)_2M$ (M = S, Se) также способны монодесульфировать органические трисульфиды; при этом реакционная способность халькогенидов $(Ph_3Sn)_2M$ уменьшается в ряду $M = Te > Se > S$. Бис(трифенилстанил)селенид десульфировает только диарил- и дибензилтрисульфиды, а десульфирование бис(трифенилстанил)сульфидом протекает с очень низкими выходами и лишь при продолжительном кипячении реакционной смеси.⁷⁶

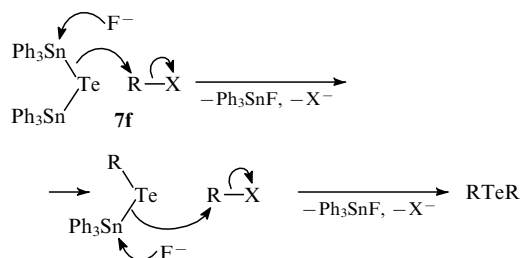
Взаимодействие теллурида **7f** с диарилдисульфидами, осуществляемое в мягких условиях (MeCN, 20°C), приводит к арил(трифенилстаннил)сульфидам **36** с высокими, а в ряде случаев с количественными выходами.⁷⁷ Диалкил- и дибензилдисульфиды в подобную реакцию не вступают. Соединения **36** могут быть получены из диарилдисульфидов и бис(трифенилстаннил)селенида.⁷⁷ Однако последний заметно менее эффективен по сравнению с теллуридом. Так, при прочих равных условиях (растворитель, температура, время реакции) 4-метилфенил(трифенилстаннил)сульфид образуется с количественным выходом при обработке соответствующего дисульфида теллуридом **7f** и с выходом только 28% при использовании селенового производного.⁷⁷



Ar = 4-ClC₆H₄, 4-FC₆H₄, Ph, 4-MeC₆H₄, 2-C₁₀H₇.

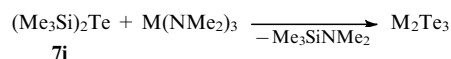
Если органил(триметилсилил)теллуриды RTeSiMe₃ являются синтетическими эквивалентами органилтеллурилат-анионов RTe⁻ (см. раздел II.2), то соединения **7** и, в частности, бис(трифенилстаннил)теллурид (**7f**) выступают как синтетические эквиваленты теллурид-аниона Te²⁻ (см.^{73, 78}).

Бис(трифенилстаннил)теллурид (**7f**) в сочетании с CsF (4 экв.) является мягким теллурирующим агентом.^{73, 78} При взаимодействии этого реагента с органическими бромидными и иодидами в MeCN при 20°C образуются симметричные диорганителлуриды с высокими выходами.^{73, 78} Арил-иодиды и алкилхлориды инертны по отношению к соединению **7f**, что позволяет синтезировать диорганителлуриды, содержащие в молекулах атомы хлора. Полагают,⁷³ что образование диорганителлуридов происходит в две стадии и включает атаку фторид-иона на атом олова.



X = Br, I; R = Prⁱ, Bn, Cl(CH₂)₆, Me(CH₂)₉, PhCOCH₂, CH₂CO₂Et, CH₂CO₂Me, CH₂CO₂Prⁿ, CH₂CO₂Bu^t, (CH₂)₃CO₂Et.

Особый интерес представляют реакции бис(триалкилсилил)теллуридов с некоторыми элементоорганическими соединениями, в ходе которых происходит разрыв обеих связей Te—Si, причем образуется не элементный Te, а теллуриды соответствующих металлов. Так, реакция бис(триметилсилил)теллурида (**7i**) с трис(диметиламино)сурьмой или -висмутом протекает в очень мягких условиях (гексан, -30°C) и приводит к поликристаллическим теллуридам сурьмы и висмута,¹¹ которые обладают полупроводниковыми свойствами.

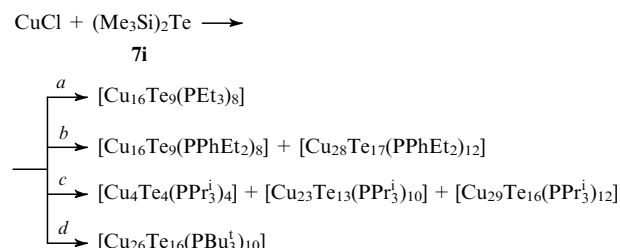


M = Sb, Bi.

Вместо диметиламинопроизводных могут быть использованы диалкилы металлов. Этим способом синтезирован теллурид Cd(II).¹⁰



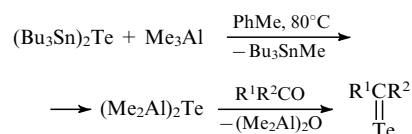
Взаимодействие бис(триметилсилил)теллурида (**7i**) с хлоридом меди(I) в присутствии фосфинов приводит к кластерным комплексам меди,⁷⁹ отличающимся от кластеров, полученных с использованием бутил(триметилсилил)теллурида⁵ (см. раздел II.2).



a) PEt₃, Et₂O; b) PPhEt₂, Et₂O; c) PPrⁱ, Et₂O; d) PBu^t, THF.

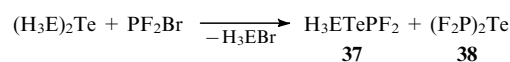
Взаимодействие теллуридов **7** с иными по сравнению с приведенными выше элементоорганическими производными Sb, Bi и Cd протекает с разрывом двух (реже одной) связей Te—E; при этом теллур входит в состав одного из конечных продуктов реакций.

Бис(трибутилстаннил)теллурид вступает в реакцию переметаллирования с триметилалюминием.^{80, 81} Используемый *in situ* бис(диметилалюминий)теллурид (Me₂Al)₂Te является эффективным теллурирующим агентом. При обработке этим реагентом альдегидов, кетонов⁸⁰ и *N*-метилформанилида⁸¹ образуются теллуроальдегиды (кетоны)⁸⁰ и *N*-метилтеллуроформанилид⁸¹ соответственно.



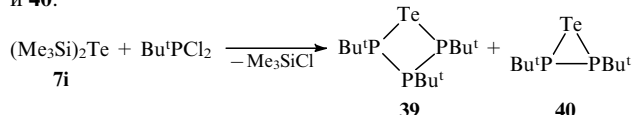
R¹ = H; R² = Prⁿ, Bu^t, Ph, N(Me)Ph; R¹R²CO — адамантанон, бицикло[3.3.1]нонан-7-он.

Теллуриды (H₃E)₂Te реагируют с PF₂Br с разрывом одной и двух связей Te—E, что приводит к смеси соединений **37** и **38**.⁸² Последние не были выделены в индивидуальном состоянии и об их образовании судили по спектрам ЯМР ¹H и ¹⁹F.



E = Si, Ge.

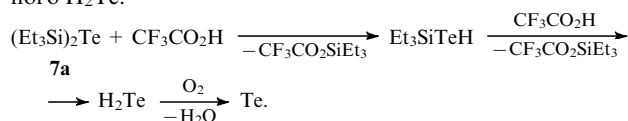
В то же время взаимодействие бис(триметилсилил)теллурида **7i** с Bu^tPCl₂ протекает с разрывом обеих связей Te—Si, в результате чего образуется смесь циклических соединений **39** и **40**.⁸³



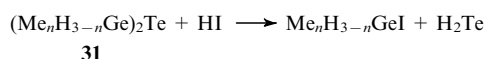
Реакции бис(триалкилсилил)теллуридов с ацилхлоридами и бисацителлуридами рассмотрены в недавнем обзоре⁸⁴.

Связь Te—E в теллуридах **7** легко расщепляется под действием протонных кислот (HCl, безводная CF₃CO₂H).⁶³ Так, первый силителлуrol — триэтилсилителлуrol — получен обработкой бис(триэтилсилил)теллурида (**7a**) трифторуксусной кислотой (мольное соотношение реагентов 1 : 1) при 20°C. Под действием избытка кислоты связь Te—Si в теллуrole разрывается, и конечными продуктами реакции

являются триэтилсилилтрифторацетат и элементный Te, который образуется, очевидно, при окислении промежуточного H_2Te .⁶³

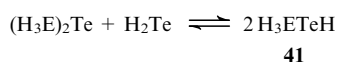


При взаимодействии гермилтеллуридов **31** с газообразным HI при 20°C расщепляются обе связи Te—Ge;^{55, 61} продуктами реакции являются гермиллиодиды и H_2Te .



$n = 0-3$.

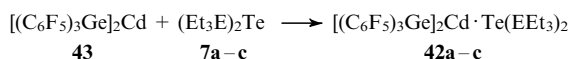
Силил- и гермилтеллуриды **41** образуются в результате обменной реакции между соответствующими теллуридами и H_2Te .⁸⁵ Константы равновесия составляют 0.90 ($\text{E} = \text{Si}$) и 0.95 ($\text{E} = \text{Ge}$).



$\text{E} = \text{Si}, \text{Ge}$.

Сигналы протонов Te—H в спектрах ЯМР ^1H теллуридов **41** наблюдаются в очень сильных полях. Так, δ_{TeH} силилтеллурида имеет значение -7.46 м.д., а гермилтеллурида — -7.44 м.д.⁸⁵

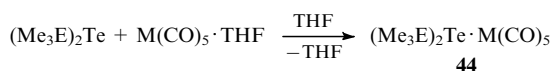
Связи Te—E не затрагиваются при образовании комплексов теллуридов **7** с некоторыми кислотами Льюиса. Стабильные комплексы **42a–c** состава 1:1 получены из бис[трис(пентафторфенил)гермил]кадмия (**43**) и теллуридов **7a–c**.⁸⁶ В случае стannильного производного выделен также комплекс состава 1:2.



$\text{E} = \text{Si} (\text{a}), \text{Ge} (\text{b}), \text{Sn} (\text{c})$.

Комплексы **42a–c** быстро окисляются на воздухе. Следует отметить, что теллуриды **7a–c** образуют преимущественно комплексы состава 1:1, в отличие от диорганисульфидов R_2S , дающих при реакции с соединением **43** комплексы состава 1:2. Авторы работы⁸⁶ связывают это с понижением донорной способности атомов Te в теллуридах **7a–c** вследствие $d_\pi-p_\pi$ -сопряжения Te с атомами E, а также со стерическими затруднениями.

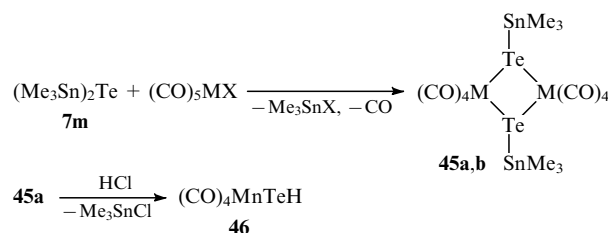
Теллуриды **7** реагируют с карбонилами хрома, молибдена и вольфрама $(\text{CO})_5\text{M} \cdot \text{THF}$ ($\text{M} = \text{Cr}, \text{Mo}, \text{W}$) с вытеснением молекулы тетрагидрофурана и образованием чувствительных к кислороду и влаге воздуха комплексов **44**.^{52, 87} Выходы последних сравнительно невелики (17–45%). Получить комплексы **44** облучением растворов, содержащих гексакарбонилы металлов и теллуриды, не удалось вследствие разложения теллуридов под действием света.



$\text{E} = \text{Ge}, \text{Sn}, \text{Pb}; \text{M} = \text{Cr}, \text{Mo}, \text{W}$.

В отличие от бис(триметилстанил)селенида, образующего с высокими выходами дидерные комплексы **45** при взаимодействии с галогенкарбонилами марганца и рения, реакция указанных карбонил с бис(триметилстанил)теллуридом (**7m**) приводит к комплексам **45a, b** с очень низкими выходами (выход соединения **45a** — 11%, а о существовании комплекса **45b** судили только по спектральным данным).⁸⁸

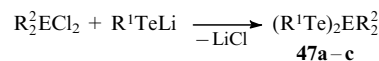
При обработке комплекса **45a** эфирным раствором HCl образуется теллуриол **46** ($\delta_{\text{TeH}} - 12.80$ м.д.).



$\text{M} = \text{Mn} (\text{45a}), \text{Re} (\text{45b}); \text{X} = \text{Br}, \text{Cl}$.

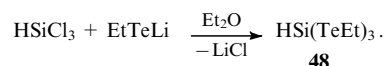
IV. Другие типы нециклических соединений со связью Te—E

Помимо производных $\text{R}^1\text{TeER}_2^2$ и $(\text{R}_3\text{E})_2\text{Te}$ описано несколько нециклических соединений со связью Te—E, например ди(органилтеллуридо)силаны(германы, стannаны) $(\text{R}^1\text{Te})_2\text{ER}_2^2$ (см.^{17, 19, 20}) и три(этилтеллуридо)силан (**48**).²⁰ Синтез соединений обоих типов осуществлен реакциями соответствующих хлорпроизводных элементов 14 группы с теллуридами лития в ТГФ¹⁹ или эфире.²⁰

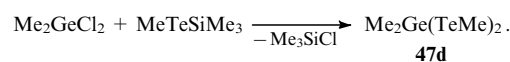


$\text{E} = \text{Sn}, \text{R}^1 = \text{Ph}; \text{R}^2 = \text{Me} (\text{47a}), \text{Bu}^t (\text{47b});$

$\text{E} = \text{Si}, \text{R}^1 = \text{Et}; \text{R}_2^2 = \text{EtH} (\text{47c}).$



Диметилди(метилтеллуридо)герман (**47d**) синтезирован реакцией диметилдихлоргермана с метил(триметилсилил)теллуридом.¹⁷

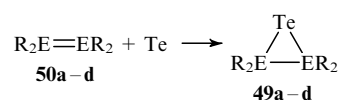


Реакции соединений **47a–d** и **48** не изучены.

V. Циклы, содержащие связи Te—E

Описан ряд трех-, четырех-, пяти- и шестичленных циклических соединений, кольца которых построены только из атомов элементов 14 группы ($\text{E} = \text{Si}, \text{Ge}, \text{Sn}$) и атомов теллура. Методы получения циклов, содержащих четыре–шесть атомов, близки к способам синтеза нециклических теллуридов $(\text{R}_3\text{E})_2\text{Te}$, тогда как реакции, приводящие к трехчленным циклам, не имеют аналогий.

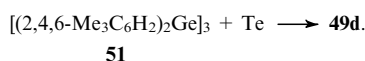
Общим методом получения трехчленных циклических соединений **49a–d**, содержащих два атома элементов 14 группы и один атом теллура, является взаимодействие соединений $\text{R}_2\text{E} = \text{ER}_2$ **50a–d** с порошкообразным теллуридом. Синтез теллурадисилинана (**49a**)⁸⁹ и теллурадигермирана (**49b**)⁹⁰ проводят в бензоле при 20 и 80°C соответственно; теллурадистанниран (**49c**)⁹¹ получают двухчасовым кипячением реакционной смеси в толуоле. Выходы составляют 66, 80 и 71% соответственно.



$\text{E} = \text{Si}, \text{R} = 2,4,6\text{-Me}_3\text{C}_6\text{H}_2 (\text{a}); \text{E} = \text{Ge}, \text{R} = 2,6\text{-Et}_2\text{C}_6\text{H}_3 (\text{b});$

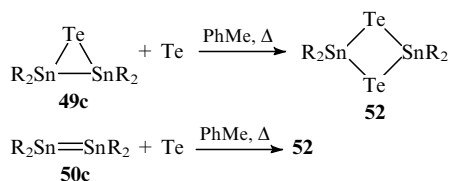
$\text{E} = \text{Sn}, \text{R} = 2,4,6\text{-Pr}_3\text{C}_6\text{H}_2 (\text{c}); \text{E} = \text{Ge}, \text{R} = 2,4,6\text{-Me}_3\text{C}_6\text{H}_2 (\text{d}).$

Синтез Te,Ge -цикла **49d** был осуществлен также кипячением гексамезитилциклотригермана (**51**) с порошкообразным теллуром в толуоле.⁹⁰ Очевидно, что реакция протекает через промежуточное образование дигермена **50** ($\text{E} = \text{Ge}$, $\text{R} = 2,4,6\text{-Me}_3\text{C}_6\text{H}_2$).



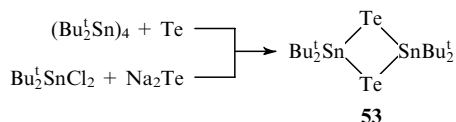
Соединения **49a–d** представляют собой высокоплавкие кристаллические вещества, стабильные по отношению к кислороду и влаге воздуха. Гермилые производные **49b,d** обладают термохромными свойствами: бесцветные при -196°C , они становятся светло-желтыми при 20°C и оранжевыми при 140°C .⁹⁰ Строение циклических соединений **49a–c** изучено методом PCA.

Взаимодействие соединения **49c** с избытком порошкообразного теллура в толуоле приводит к цикло-1,3-дителлура-2,4-дистаннану **52** с количественным выходом.⁹¹ Этот же цикл получен с выходом 73% кипячением смеси соответствующего дистанна **50c** с порошкообразным теллуром в толуоле (мольное соотношение реагентов 1 : 3).⁹¹

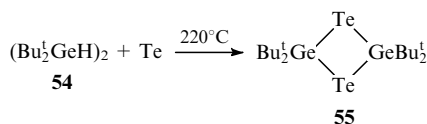


$\text{R} = 2,4,6\text{-Pr}_3\text{C}_6\text{H}_2$.

трет-Бутильный аналог соединения **52** — цикло-1,3-дителлура-2,4-дистаннан **53** — синтезирован реакцией тетрамерного ди(*трет*-бутил)олова с теллуром, а также взаимодействием Bu_4SnCl_2 с теллуридом натрия.⁹²

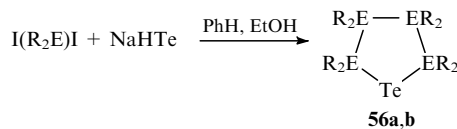


Для получения цикло-1,3-дителлура-2,4-дигермана **54** использована реакция, подобная применявшейся для синтеза теллуридов $(\text{R}_3\text{E})_2\text{Te}$ (см. раздел III.1). Нагревание гидрида **54** с порошкообразным теллуром приводит к циклическому соединению **55** с почти количественным выходом.⁹³ Следует отметить, что при взаимодействии гидрида **54** с селеном образуется смесь четырех- и пятичленных циклических продуктов.⁹³

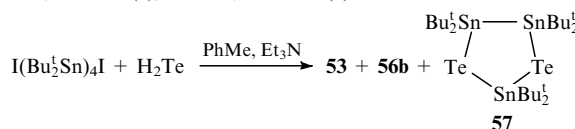


Синтез пятичленных циклических производных $\text{R}_8\text{E}_4\text{Te}$ (**56a,b**, $\text{E} = \text{Ge}$, Sn) осуществлен при использовании однотипных по строению производных элементов 14 группы. Октафенилтеллураттетрагерманациклопентан (**56a**) получен реакцией 1,4-диоктафенилтетрагермана с гидротеллуридом натрия в смеси бензол–этанол.⁹⁴ Взаимодействие 1,4-диоктафенилтетрагермана с H_2Te в присутствии триэтиламина приводит к окта(*трет*-бутил)теллураттетрагерманациклопентану (**56b**).⁹⁵ Поскольку в результате реакции триэтиламина с H_2Te образуется гидротеллурид триэтиламиния $\text{Et}_3\text{NH}^+\text{HTe}^-$, можно утверждать, что теллуросодержащим субстратом в обеих реакциях является анион

HTe^- . Теллурид натрия не пригоден для получения цикла **56b**, так как он расщепляет связи $\text{Sn}—\text{Sn}$ в исходном соединении. Побочными продуктами при получении 1-теллура-2,3,4,5-тетрастаннациклопентана **56b** являются соединения **53** и *трет*-бутильное производное 1,3-дителлура-2,4,5-тристаннациклопентана **57**.⁹⁵



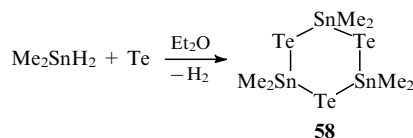
$\text{E} = \text{Ge}$, $\text{R} = \text{Ph}$ (**a**); $\text{E} = \text{Sn}$, $\text{R} = \text{Bu}^t$ (**b**).



Соединение **56b** довольно стабильно при хранении, тогда как его германиевый аналог **56a** быстро окисляется на воздухе с образованием $(\text{Ph}_2\text{Ge})_4\text{O}$.⁹⁴ Согласно данным PCA,⁹⁵ цикл в соединении **56b** практически планарен.

Представитель еще одного типа пятичленных циклических соединений, содержащих атомы Te и Sn , — 2,4,5-гексаметил-1,3-дителлура-2,4,5-тристаннациклопентан — получен реакцией порошкообразного теллура с диметилстаннаном, который в свою очередь синтезирован восстановлением диметилдихлорстаннана алюмогидридом лития в смеси $\text{Et}_2\text{O}—\text{DMF}$ (30 : 1 по объему).⁹⁶ Он охарактеризован данными масс-спектрометрии и спектроскопии ЯМР ^1H (см.⁹⁶) и ^{119}Sn (см.⁹⁷).

Восстановление диметилдихлорстаннана или Me_2SnO алюмогидридом лития в Et_2O и последующая реакция диметилстаннана с порошкообразным теллуром приводит к 2,2,4,4,6,6-гексаметил-1,3,5-трителлура-2,4,6-тристаннациклопентану (**58**) с выходом 58%.⁹⁸



Соединение **59** получено с выходом 62% также реакцией диметилдихлорстаннана с гидротеллуридом натрия (синтезирован из Te и NaBH_4 в воде).⁹⁹ Оно охарактеризовано данными PCA⁹⁹ и масс-спектрометрии.⁹⁸

VI. Заключение

Представленные в обзоре данные свидетельствуют о том, что соединения со связью Te —элемент 14-й группы являются перспективным в синтетическом отношении классом элементоорганических соединений. Они могут быть использованы для синтеза теллурурганических производных различных типов: элементоорганических теллуридов, арилалкилтеллуридов, арилтеллурибензоатов и арилтеллуриформатов, различных теллурикетонных и гетероциклов на основе последних. Перспективная, хотя и малоизученная к настоящему времени, область применения рассматриваемых соединений — получение теллуридов различных металлов, теллуросодержащих кластеров и низкотемпературный синтез теллуридов металлов. Немногочисленные пока данные указывают на возможность использования соединений со связью $\text{Te}—\text{E}$ в органическом синтезе для получения ряда органических производных серы и некоторых других элементоорганических соединений.

Расширение круга изученных реакций, прежде всего приводящих к теллуриатам и теллуридам металлов, поиск новых методов синтеза и изучение свойств соединений R_3ETeR^2 и $(R_3E)_2Te$, разработка способов получения и изучение реакций других типов соединений со связями Te —элемент 14-й группы — $(R_3E)_4E$ и $(R^1Te)_nER^2_{4-n}$ ($n = 2, 3$) — представляют несомненный интерес как для теллурурганической химии, так и для органической химии вообще.

Обзор написан при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 99-03-33132а и № 00-15-97320) и Министерства образования РФ (грант 2000-5-117).

Литература

1. P.Boese, A.Haas, C.Limberg. *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, 2547 (1993)
2. J.Beck, A.Haas, W.Herrendorf, H.Heuduk. *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, 4463 (1996)
3. M.Baum, J.Beck, A.Haas, W.Herrendorf, C.Monse. *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, 11 (2000)
4. S.A.Gardner, P.J.Trotter, H.J.Gysling. *J. Organomet. Chem.*, **212**, 35 (1981)
5. J.F.Corrigan, S.Balter, D.Fenske. *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, 729 (1996)
6. C.H.Schiesser, M.A.Skidmore. *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1*, 2689 (1997)
7. C.H.Schiesser, M.A.Skidmore. *J. Org. Chem.*, **63**, 5713 (1998)
8. M.J.Evers, L.E.Christiaens, M.Renson. *J. Org. Chem.*, **51**, 5196 (1986)
9. K.Sasaki, Y.Aso, T.Otsubo, F.Ogura. *Chem. Lett.*, 977 (1986)
10. S.M.Stuczynski, J.G.Brennan, M.L.Steigerwald. *Inorg. Chem.*, **28**, 4431 (1989)
11. T.J.Groshens, R.W.Gedridge, C.K.Lowe-Mo. *Chem. Mater.*, **6**, 727 (1994)
12. K.J.Irgolic. *The Organic Chemistry of Tellurium*. Gordon and Breach, New York; London; Paris, 1974
13. И.Д.Садеков, А.А.Максименко, В.И.Минкин. *Химия теллурурганических соединений*. Изд-во Рост. ун-та, Ростов-на-Дону, 1983
14. *The Chemistry of Organic Selenium and Tellurium Compounds. Vol. 1.* (Eds S.Patai, Z.Rappoport). Wiley, New York; Brisbane; Toronto; Singapore, 1986
15. J.Arnold. *Progr. Inorg. Chem.*, **43**, 353 (1995)
16. И.Д.Садеков, А.В.Захаров. *Успехи химии*, **68**, 999 (1999)
17. J.E.Drake, R.T.Hemmings. *Inorg. Chem.*, **19**, 1879 (1980)
18. K.Sasaki, Y.Aso, T.Otsubo, F.Ogura. *Tetrahedron Lett.*, **26**, 453 (1985)
19. C.H.W.Jones, R.D.Sharma, S.P.Taneja. *Can. J. Chem.*, **64**, 980 (1986)
20. А.Н.Егорочкин, Е.Н.Гладышев, С.Я.Хоршев, П.Я.Баюшкин, А.И.Буров, Н.С.Вязанкин. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 639 (1971)
21. C.H.W.Jones, R.D.Sharma. *J. Organomet. Chem.*, **268**, 113 (1984)
22. K.Praefcke, C.Weichsel. *Synthesis*, 216 (1980)
23. А.И.Чаров, М.Н.Бочкарев, Н.С.Вязанкин. *Журн. общ. химии*, **43**, 772 (1973)
24. N.S.Dance, W.R.McWhinnie, C.H.W.Jones. *J. Organomet. Chem.*, **125**, 291 (1977)
25. Н.С.Вязанкин, М.Н.Бочкарев, Л.П.Санина. *Журн. общ. химии*, **36**, 1154 (1966)
26. Н.С.Вязанкин, М.Н.Бочкарев, Л.П.Санина. *Журн. общ. химии*, **37**, 1037 (1967)
27. C.H.Schiesser, M.A.Skidmore. *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 1419 (1996)
28. C.H.Schiesser, M.A.Skidmore. *J. Organomet. Chem.*, **552**, 145 (1998)
29. D.L.I.Clive, G.I.Chittattu, V.Farina, W.A.Kiel, S.M.Menchen, C.G.Russell, A.Singh, C.K.Wong, N.I.Curtis. *J. Am. Chem. Soc.*, **102**, 4438 (1980)
30. Е.Н.Гладышев, В.С.Андреевичев, А.А.Климов, Н.С.Вязанкин, Г.А.Разуваев. *Журн. общ. химии*, **42**, 1077 (1972)
31. G.Becker, K.W.Klinkhammer, S.Lartiges, P.Bottcher, W.Poll. *Z. Anorg. Allg. Chem.*, **613**, 7 (1992)
32. J.C.Scaiano, P.Schmid, K.U.Ingold. *J. Organomet. Chem.*, **121**, C4 (1976)
33. N.Ohira, Y.Aso, T.Otsubo, F.Ogura. *Chem. Lett.*, 853 (1984)
34. Y.Aso, T.Nishioka, M.Osuka, K.Nagakawa, K.Sasaki, T.Otsubo, F.Ogura. *J. Chem. Soc. Jpn., Chem. Ind.*, 1490 (1987); *РЖХим.*, 3 Ж 475 (1988)
35. K.Nagakawa, M.Osuka, K.Sasaki, Y.Aso, T.Otsubo, F.Ogura. *Chem. Lett.*, 1331 (1987)
36. E.W.Abel, D.J.Walker. *J. Chem. Soc. A*, 2338 (1968)
37. N.Miyoshi, H.Ishii, S.Murai, N.Sonoda. *Chem. Lett.*, 873 (1979)
38. S.Kato, T.Murai, M.Ishida. *Org. Prep. Proc. Int.*, **18**, 369 (1986)
39. M.A.Lucas, C.H.Schiesser. *J. Org. Chem.*, **61**, 5754 (1996)
40. M.A.Lucas, C.H.Schiesser. *J. Org. Chem.*, **63**, 3032 (1998)
41. I.Davies, W.R.McWhinnie, N.S.Dance, C.H.W.Jones. *Inorg. Chim. Acta*, **29**, L217 (1978)
42. L.-B.Han, S.Shimada, M.Tanaka. *J. Am. Chem. Soc.*, **119**, 8133 (1997)
43. K.A.Hooton, A.L.Allred. *Inorg. Chem.*, **4**, 671 (1965)
44. H.Schumann, K.-F.Thom, M.Schmidt. *Angew. Chem.*, **75**, 138 (1963)
45. H.Schumann, K.-F.Thom, M.Schmidt. *J. Organomet. Chem.*, **2**, 361 (1963)
46. H.Schumann, K.-F.Thom, M.Schmidt. *J. Organomet. Chem.*, **4**, 22 (1965)
47. H.Schumann, K.-F.Thom, M.Schmidt. *J. Organomet. Chem.*, **4**, 28 (1965)
48. H.Schumann, M.Schmidt. *Angew. Chem.*, **77**, 1049 (1965)
49. D.E.Gindelberger, J.Arnold. *Organometallics*, **13**, 4462 (1994)
50. Н.С.Вязанкин, М.Н.Бочкарев, Л.П.Санина. *Журн. общ. химии*, **38**, 414 (1968)
51. М.Н.Бочкарев, Л.П.Майорова, А.И.Чаров, Н.С.Вязанкин. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 1375 (1972)
52. H.Schumann, R.Mohtachemi, H.-J.Kroth, U.Frank. *Chem. Ber.*, **106**, 2049 (1973)
53. H.Buerger, U.Goetze. *Inorg. Nucl. Chem. Lett.*, **3**, 549 (1967)
54. H.Buerger, U.Goetze, W.Sawodny. *Spectrochim. Acta*, **24A**, 2003 (1968)
55. S.Cradock, E.A.V.Ebsworth, D.W.H.Rankin. *J. Chem. Soc. A*, 1629 (1969)
56. M.R.Detty, M.D.Seidler. *J. Org. Chem.*, **47**, 1354 (1982)
57. R.Eujen, F.F.Laufs, H.Oberhammer. *Z. Anorg. Allg. Chem.*, **561**, 82 (1988)
58. M.Herberhold, U.Steffl, W.Milius, B.Wrackmeyer. *Angew. Chem.*, **108**, 1927 (1996)
59. M.Herberhold, U.Steffl, W.Milius, B.Wrackmeyer. *J. Organomet. Chem.*, **533**, 109 (1997)
60. F.W.B.Einstein, C.H.W.Jones, T.Jones, R.D.Sharma. *Can. J. Chem.*, **61**, 2611 (1983)
61. J.E.Drake, R.T.Hemmings, E.Henderson. *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, 366 (1976)
62. Н.С.Вязанкин, М.Н.Бочкарев, Л.П.Санина. *Журн. общ. химии*, **36**, 166 (1966)
63. М.Н.Бочкарев, Л.П.Санина, Н.С.Вязанкин. *Журн. общ. химии*, **39**, 135 (1969)
64. J.M.Fisher, W.E.Piers, S.D.P.Batchilder, M.J.Zaworotko. *J. Am. Chem. Soc.*, **118**, 283 (1996)
65. М.Н.Бочкарев, Н.С.Вязанкин, Л.П.Майорова. *Докл. АН СССР*, **200**, 1102 (1971)
66. T.R.Bierschenk, T.J.Juhlke, R.J.Lagow. *J. Am. Chem. Soc.*, **103**, 7340 (1981)
67. T.R.Bierschenk, M.A.Guerra, T.J.Juhlke, S.B.Larson, R.J.Lagow. *J. Am. Chem. Soc.*, **109**, 4855 (1987)
68. B.O.Dabbousi, P.J.Bonasia, J.Arnold. *J. Am. Chem. Soc.*, **113**, 3186 (1991)
69. P.J.Bonasia, D.E.Gindelberger, B.O.Dabbousi, J.Arnold. *J. Am. Chem. Soc.*, **114**, 5209 (1992)
70. H.Schumann, I.Schumann-Ruidish. *J. Organomet. Chem.*, **18**, 355 (1969)

71. Н.С.Вязанкин, Л.П.Санина, Г.С.Калинина, М.Н.Бочкарев. *Журн. общ. химии*, **38**, 1800 (1968)
72. I.D.Sadekov, B.B.Rivkin, A.A.Maksimenko, E.I.Sadekova. *Sulfur Rep.*, **17**, 1 (1995)
73. C.-J.Li, D.N.Harpp. *Tetrahedron Lett.*, **31**, 6291 (1990)
74. C.-J.Li, D.N.Harpp. *Tetrahedron Lett.*, **32**, 1545 (1991)
75. Н.С.Вязанкин, М.Н.Бочкарев, Л.П.Санина. *Журн. общ. химии*, **37**, 1545 (1967)
76. C.-J.Li, D.N.Harpp. *Tetrahedron Lett.*, **34**, 903 (1993)
77. C.-J.Li, D.N.Harpp. *Tetrahedron Lett.*, **33**, 7293 (1992)
78. C.-J.Li, D.N.Harpp. *Sulfur Lett.*, **13**, 139 (1991)
79. D.Fenske, J.C.Steck. *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **32**, 239 (1993)
80. M.Segi, T.Koyama, Y.Takata, T.Nakajima, S.Suga. *J. Am. Chem. Soc.*, **111**, 8749 (1989)
81. M.Segi, A.Kojima, T.Nakajima, S.Suga. *Synth. Lett.*, 105 (1991)
82. D.E.J.Arnold, J.S.Dryburgh, E.A.V.Ebsworth, D.W.H.Rankin. *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, 2518 (1972)
83. W.W.du Mont, R.Hensel, S.Kubiniok, L.Lange, T.Severengiz. *Phosphorus Sulfur Relat. Elem.*, **38**, 85 (1988)
84. И.Д.Садеков, А.А.Максименко, В.Л.Ниворожкин. *Успехи химии*, **67**, 219 (1998)
85. C.Glidewell, D.W.H.Rankin, G.M.Sheldrick. *J. Chem. Soc., Faraday Trans.*, 1409 (1969)
86. М.Н.Бочкарев, В.С.Андреевичев, Н.С.Вязанкин. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 702 (1973)
87. H.Schumann, R.Weiss. *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **9**, 246 (1970)
88. V.Küllmer, H.Vahrenkamp. *Chem. Ber.*, **110**, 228 (1977)
89. R.P.-K.Tan, G.R.Gillette, D.R.Powell, R.West. *Organometallics*, **10**, 546 (1991)
90. T.Tsumuraya, Y.Kabe, W.Ando. *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 1159 (1990)
91. A.Schäfer, M.Weidenbruch, W.Saak, S.Pohl, H.Marsmann. *Angew. Chem.*, **103**, 873 (1991)
92. H.Puff, R.Gattermayer, R.Hundt, R.Zimmer. *Angew. Chem.*, **89**, 556 (1977)
93. M.Wojnowska, M.Noltemeyer, H.-J.Füllgrabe, A.Meller. *J. Organomet. Chem.*, **228**, 229 (1982)
94. L.Ross, M.Dräger. *J. Organomet. Chem.*, **194**, 23 (1980)
95. H.Puff, A.Bongartz, W.Schun, R.Zimmer. *J. Organomet. Chem.*, **248**, 61 (1983)
96. B.Mathias. *Z. Anorg. Allg. Chem.*, **432**, 269 (1977)
97. A.Blecher, B.Mathias, T.N.Mitchell. *J. Organomet. Chem.*, **184**, 175 (1980)
98. A.Blecher, B.Mathias. *Z. Naturforsch., B Chem. Sci.*, **33**, 246 (1978)
99. A.Blecher, M.Dräger. *Angew. Chem.*, **91**, 740 (1979)

SYNTHESIS AND REACTIONS OF ORGANIC COMPOUNDS CONTAINING THE Te — GROUP 14 ELEMENT BOND

I.D.Sadekov

Research Institute of Physical and Organic Chemistry of the Rostov State University
194/2, Prosp. Stachki, 344090 Rostov-on-Don, Russian Federation, Fax +7(863)243-4667

The data on the synthesis and reactions of organic compounds containing Te — Group 14 element bonds are generalised and described systematically. Data on the use of these compounds for the preparation of organoelement compounds, complexes with organotellurium ligands, tellurium-containing clusters, and metal tellurides are presented.

Bibliography — 99 references.

Received 30th July 2001