

# Кремний

Материал из Википедии — свободной энциклопедии

## Кремний/Silicium (Si)

[Атомный номер](#)

14

Внешний вид простого вещества



В аморфной форме—  
коричневый  
порошок,  
в кристаллической —  
тёмно-серый,  
слегка блестящий

## Свойства атома

[Атомная масса](#)  
(молярная масса) 28,0855 [а. е. м.](#)  
(г/моль)

[Радиус атома](#) 132 [пм](#)

[Энергия ионизации](#)  
(первый электрон) 786,0(8,15) [кДж/моль](#)  
(эВ)

[Электронная конфигурация](#)  
[Ne] 3s<sup>2</sup> 3p<sup>2</sup>

## Химические свойства

[Ковалентный радиус](#) 111 [пм](#)

[Радиус иона](#) 42 (+4e) 271 (-4e) [пм](#)

[Электроотрицательность](#)  
(по Полингу) 1,90

[Электродный потенциал](#) 0

[Степени окисления](#) +4, -4, +2

## Термодинамические свойства простого вещества

[Плотность](#) 2,33 [г/см<sup>3</sup>](#)

[Молярная теплоёмкость](#) 20,16<sup>[1]</sup> [Дж/\(К·моль\)](#)

[Теплопроводность](#) 149 [Вт/\(м·К\)](#)

[Температура плавления](#) 1688 [К](#)

[Теплота плавления](#) 50,6 [кДж/моль](#)

[Температура кипения](#) 2623 [К](#)

[Теплота испарения](#) 383 [кДж/моль](#)

[Молярный объём](#) 12,1 [см<sup>3</sup>/моль](#)

Кристаллическая вещества	решётка	простого
-----------------------------	---------	----------

<a href="#">Структура решётки</a>	кубическая, алмазная	
-----------------------------------	----------------------	--

<a href="#">Параметры решётки</a>	5,430 Å	
-----------------------------------	---------	--

Отношение c/a	—	
---------------	---	--

<a href="#">Температура Дебая</a>	625 K	
-----------------------------------	-------	--

Si 14

28,0855

3s<sup>2</sup>3p<sup>2</sup>

Кремний

## Содержание

- [1 История](#)
- [2 Происхождение названия](#)
- [3 Нахождение в природе](#)
- [4 Получение](#)
- [5 Физические свойства](#)
  - [5.1 Электрофизические свойства](#)
- [6 Химические свойства](#)
- [7 Применение](#)
- [8 Биологическая роль](#)
- [9 См. также](#)
- [10 Ссылки](#)
- [11 Литература](#)
- [12 Примечания](#)

## История

14: Silicon 2,8,4



Схема атома кремния

В чистом виде **кремний** был выделен в [1811 году](#) французскими учеными [Жозефом Луи Гей-Люссаком](#) и [Луи Жаком Тенаром](#).

## Происхождение названия

В [1825 году](#) шведский химик [Йёнс Якоб Берцелиус](#) действием [металлического](#) калия на [фтористый кремний](#)  $\text{SiF}_4$  получил чистый элементарный кремний. Новому элементу было дано название «силиций» (от [лат.](#) *silex* — [кремень](#)). Русское название «кремний» введено в [1834 году](#) российский химиком [Германом Ивановичем Гессом](#). В переводе с греческого *kremnos* — «утес, гора».

## Нахождение в природе

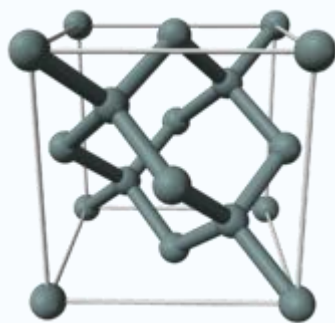
По распространённости в земной коре кремний среди всех [элементов](#) занимает второе место (после [кислорода](#)). Масса [земной коры](#) на 27,6—29,5 % состоит из кремния. Кремний входит в состав нескольких сотен различных природных [силикатов](#) и [алюмосиликатов](#). Больше всего распространён [кремнезём](#) — многочисленные формы [диоксида кремния](#) (IV)  $\text{SiO}_2$  (речной [песок](#), [кварц](#), [кремень](#) и др.), составляющий около 12 % земной коры (по массе). В свободном виде кремний в природе не встречается, хотя одна четвертая земли состоит из кремния.

## Получение

В промышленности кремний получают, восстанавливая расплав  $\text{SiO}_2$  [коксом](#) при температуре около 1800 °С в [дуговых печах](#). Чистота полученного таким образом кремния составляет около 99,9 %. Так как для практического использования нужен кремний более высокой чистоты, полученный кремний хлорируют. Образуются соединения состава  $\text{SiCl}_4$  и  $\text{SiCl}_3\text{H}$ . Эти хлориды далее очищают различными способами от примесей и на заключительном этапе восстанавливают чистым [водородом](#). Возможна также очистка кремния за счет предварительного получения силицида магния  $\text{Mg}_2\text{Si}$ . Далее из силицида магния с помощью [соляной](#) или [уксусной](#) кислот получают летучий [моносилан](#)  $\text{SiH}_4$ . Моносилан очищают далее [ректификацией](#), сорбционными и др. методами, а затем разлагают на кремний и [водород](#) при температуре около 1000 °С. Содержание примесей в получаемом этими методами кремнии снижается до  $10^{-8}$ - $10^{-6}\%$  по массе.

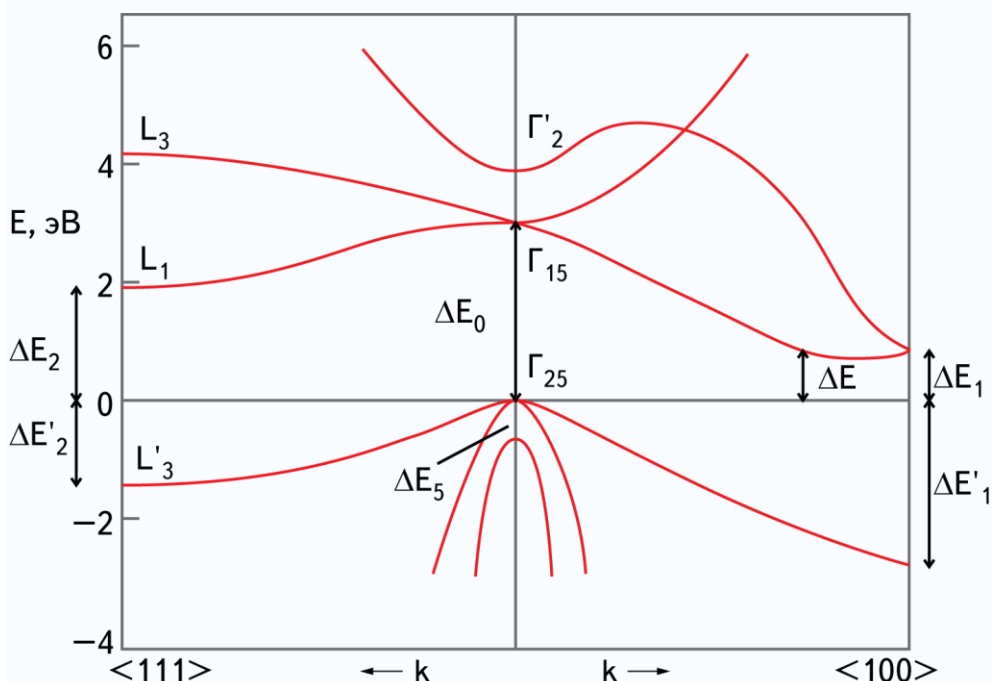
Способ получения кремния в чистом виде разработан [Николаем Николаевичем Бекетовым](#). Крупнейшим производителем кремния в России является ОК Русал[1] — кремний производится на заводах в г. [Каменск-Уральский](#) ([Свердловская область](#)) и г. [Шелехов](#) ([Иркутская область](#)).

## Физические свойства



Кристаллическая структура кремния.

Кристаллическая решетка кремния кубическая гранецентрированная типа [алмаза](#), параметр  $a = 0,54307$  нм (при высоких давлениях получены и другие полиморфные модификации кремния), но из-за большей длины связи между атомами Si—Si по сравнению с длиной связи C—C твердость кремния значительно меньше, чем алмаза. Кремний хрупок, только при нагревании выше  $800\text{ }^\circ\text{C}$  он становится пластичным веществом. Интересно, что кремний прозрачен к [инфракрасному излучению](#), начиная с длины волны 1.1 микронметр.



Схематическое изображение зонной структуры Si.

Ширины запрещенных зон равны:

$\Delta E = 1,12$  эВ,  $\Delta E_0 = 3,4$  эВ,  $\Delta E_5 = 0,035$  эВ,

$\Delta E_1 = 1,2$  эВ,  $\Delta E'_1 = 3,1$  эВ,

$\Delta E_2 = 1,9$  эВ,  $\Delta E'_2 = 2,2$  эВ.

Схематическое изображение зонной структуры кремния <sup>[2]</sup>

## Электрофизические свойства

Элементарный кремний — типичный непрямозонный [полупроводник](#). Ширина запрещенной зоны при комнатной температуре 1,12 эВ, а при  $T = 0$  К составляет 1,21 эВ <sup>[3]</sup>. Концентрация носителей заряда в кремнии с собственной проводимостью при комнатной температуре  $1,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ . На электрофизические свойства кристаллического кремния большое влияние оказывают содержащиеся в нем микропримеси. Для получения монокристаллов кремния с дырочной проводимостью в кремний вводят добавки элементов III-й группы — [бора](#), [алюминия](#), [галлия](#) и [индия](#), с электронной проводимостью — добавки элементов V-й группы — [фосфора](#), [мышьяка](#) или [сурьмы](#). Электрические свойства кремния можно варьировать, изменяя условия обработки монокристаллов, в частности, обрабатывая поверхность кремния различными химическими агентами.

1. Диэлектрическая постоянная: 12
2. Подвижность электронов:  $1300\text{--}1400 \text{ см}^2/(\text{в} \cdot \text{с})$ .
3. Подвижность дырок:  $500 \text{ см}^2/(\text{в} \cdot \text{с})$ .
4. Продолжительность жизни электрона: 50 — 500 мксек

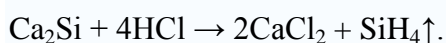
5. Длина свободного пробега электрона: 0,1 см
6. Длина свободного пробега дырки: 0,02 — 0,06 см

## Химические свойства

В соединениях кремний склонен проявлять степень окисления +4 или -4, так как для атома кремния более характерно состояние  $sp^3$ -гибридизации орбиталей. Поэтому во всех соединениях, кроме оксида кремния (II) SiO, кремний четырёхвалентен.

Химически кремний малоактивен. При комнатной температуре реагирует только с газообразным фтором, при этом образуется летучий тетрафторид кремния SiF<sub>4</sub>. При нагревании до температуры 400—500 °С кремний реагирует с кислородом с образованием диоксида SiO<sub>2</sub>, с хлором, бромом и йодом — с образованием соответствующих легко летучих тетрагалогенидов SiHal<sub>4</sub>.

С водородом кремний непосредственно не реагирует, соединения кремния с водородом — силаны с общей формулой Si<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub> — получают косвенным путем. Моносилан SiH<sub>4</sub> (его часто называют просто силаном) выделяется при взаимодействии силицидов металлов с растворами кислот, например:



Образующийся в этой реакции силан SiH<sub>4</sub> содержит примесь и других силанов, в частности, дисилана Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub> и трисилана Si<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, в которых имеется цепочка из атомов кремния, связанных между собой одинарными связями (—Si—Si—Si—).

С азотом кремний при температуре около 1000 °С образует нитрид Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, с бором — термически и химически стойкие бориды SiB<sub>3</sub>, SiB<sub>6</sub> и SiB<sub>12</sub>. Соединение кремния и его ближайшего аналога по таблице Менделеева — углерода — карбид кремния SiC (карборунд) характеризуется высокой твердостью и низкой химической активностью. Карборунд широко используется как абразивный материал.

При нагревании кремния с металлами возникают силициды. Силициды можно подразделить на две группы: ионно-ковалентные (силициды щелочных, щелочноземельных металлов и магния типа Ca<sub>2</sub>Si, Mg<sub>2</sub>Si и др.) и металлоподобные (силициды переходных металлов). Силициды активных металлов разлагаются под действием кислот, силициды переходных металлов химически стойки и под действием кислот не разлагаются. Металлоподобные силициды имеют высокие температуры плавления (до 2000 °С). Наиболее часто образуются металлоподобные силициды составов MeSi, Me<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>, Me<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>, Me<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> и MeSi<sub>2</sub>. Металлоподобные силициды химически инертны, устойчивы к действию кислорода даже при высоких температурах.

При восстановлении SiO<sub>2</sub> кремнием при высоких температурах образуется оксид кремния (II) SiO.

Для кремния характерно образование кремнийорганических соединений, в которых атомы кремния соединены в длинные цепочки за счет мостиковых атомов кислорода —O—, а к каждому атому кремния, кроме двух атомов O, присоединены еще два органических радикала R<sub>1</sub> и R<sub>2</sub> = CH<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>, CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CF<sub>3</sub> и др.

## Применение



[Микроконтроллер](#) 1993 года с УФ стиранием памяти 62E40 фирмы [STMicroelectronics](#). За окном виден кристалл микросхемы — кремниевая подложка со схемой.

В настоящее время кремний — основной материал для [электроники](#) и [солнечной энергетики](#).

[Монокристаллический кремний](#) — материал для [зеркал](#) газовых [лазеров](#).

Иногда кремний (технической чистоты) и его сплав с [железом](#) ([ферросилиций](#)) используется для производства [водорода](#) в полевых условиях.

Соединения металлов с кремнием — [силициды](#), являются широкоупотребляемыми в промышленности (например электронной и атомной) материалами с широким спектром полезных химических, электрических и ядерных свойств (устойчивость к окислению, нейтронам и др.), а также силициды ряда элементов являются важными термоэлектрическими материалами.

Кремний применяется в [металлургии](#) при выплавке [чугуна](#), [сталей](#), [бронз](#), [силумина](#) и др. (как раскислитель и модификатор, а также как [легирующий](#) компонент).

Соединения кремния служат основой для производства [стекла](#) и [цемента](#). Производством стекла и цемента занимается силикатная промышленность. Она также выпускает силикатную [керамику](#) — [кирпич](#), [фарфор](#), [фаянс](#) и изделия из них.

Широко известен [силикатный клей](#), преимущественно применяемый для склеивания бумаги.

Последнее время очень широко применяются полимеры на основе кремния — [силиконы](#).

## Биологическая роль

Для некоторых организмов кремний является [важным биогенным элементом](#). Он входит в состав опорных образований у растений и скелетных — у животных. В больших количествах кремний концентрируют морские организмы — [диатомовые водоросли](#), [радиолярии](#), [губки](#). Большие количества кремния концентрируют хвощи и злаки, в первую очередь — подсемейства Бамбуков и Рисовидных, в том числе — рис посевной.

Мышечная ткань человека содержит  $(1-2) \cdot 10^{-2}\%$  кремния, костная ткань —  $17 \cdot 10^{-4}\%$ , кровь — 3,9 мг/л. С пищей в организм человека ежедневно поступает до 1 г кремния.

Соединения кремния относительно нетоксичны. Но очень опасно вдыхание [высокодисперсных частиц](#) как силикатов, так и диоксида кремния, образующихся, например, при взрывных работах, при долблении пород в шахтах, при работе пескоструйных аппаратов и т. д. Микрочастицы  $\text{SiO}_2$ , попавшие в лёгкие, кристаллизуются в них, а возникающие кристаллики разрушают лёгочную ткань и вызывают тяжёлую болезнь — [силикоз](#). Чтобы не допустить попадания в лёгкие опасной пыли, следует использовать для защиты органов дыхания респиратор.

## См. также

- [Категория: Соединения кремния](#)
- [Пористый кремний](#)
- [Кристаллический кремний](#)
- [Германий](#)
- [Кремнийорганические соединения](#)

## Ссылки

- [Кремний на Webelements](#)
- [Кремний в Популярной библиотеке химических элементов](#)

## Литература

- Самсонов. Г. В. Силициды и их использование в технике. Киев, Изд-во АН УССР, 1959. 204 стр. с илл.
- Алёшин Е. П., Алёшин Н. Е. Рис. Москва, 1993. 504 стр. 100 рис.

## Примечания

1. ↑ *Редкол.:Кнунянц И. Л. (гл. ред.) Химическая энциклопедия: в 5 т.. — Москва: Советская энциклопедия, 1990. — Т. 2. — С. 508. — 671 с. — 100 000 экз.*
2. ↑ Р Смит., Полупроводники: Пер. с англ. — М.: Мир, 1982. — 560 с, ил.
3. ↑ Зи С., Физика полупроводниковых приборов: В 2-х книгах. Кн. 1. Пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 456 с, ил.

## Периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева[\[скрыть\]](#)

<a href="#">H</a>																<a href="#">He</a>	
<a href="#">Li</a>	<a href="#">Be</a>									<a href="#">B</a>	<a href="#">C</a>	<a href="#">N</a>	<a href="#">O</a>	<a href="#">F</a>	<a href="#">Ne</a>		
<a href="#">Na</a>	<a href="#">Mg</a>									<a href="#">Al</a>	<a href="#">Si</a>	<a href="#">P</a>	<a href="#">S</a>	<a href="#">Cl</a>	<a href="#">Ar</a>		
<a href="#">K</a>	<a href="#">Ca</a>	<a href="#">Sc</a>	<a href="#">Ti</a>	<a href="#">V</a>	<a href="#">Cr</a>	<a href="#">Mn</a>	<a href="#">Fe</a>	<a href="#">Co</a>	<a href="#">Ni</a>	<a href="#">Cu</a>	<a href="#">Zn</a>	<a href="#">Ga</a>	<a href="#">Ge</a>	<a href="#">As</a>	<a href="#">Se</a>	<a href="#">Br</a>	<a href="#">Kr</a>
<a href="#">Rb</a>	<a href="#">Sr</a>	<a href="#">Y</a>	<a href="#">Zr</a>	<a href="#">Nb</a>	<a href="#">Mo</a>	<a href="#">Tc</a>	<a href="#">Ru</a>	<a href="#">Rh</a>	<a href="#">Pd</a>	<a href="#">Ag</a>	<a href="#">Cd</a>	<a href="#">In</a>	<a href="#">Sn</a>	<a href="#">Sb</a>	<a href="#">Te</a>	<a href="#">I</a>	<a href="#">Xe</a>
<a href="#">Cs</a>	<a href="#">Ba</a>	*	<a href="#">Hf</a>	<a href="#">Ta</a>	<a href="#">W</a>	<a href="#">Re</a>	<a href="#">Os</a>	<a href="#">Ir</a>	<a href="#">Pt</a>	<a href="#">Au</a>	<a href="#">Hg</a>	<a href="#">Tl</a>	<a href="#">Pb</a>	<a href="#">Bi</a>	<a href="#">Po</a>	<a href="#">At</a>	<a href="#">Rn</a>
<a href="#">Fr</a>	<a href="#">Ra</a>	**	<a href="#">Rf</a>	<a href="#">Db</a>	<a href="#">Sg</a>	<a href="#">Bh</a>	<a href="#">Hs</a>	<a href="#">Mt</a>	<a href="#">Ds</a>	<a href="#">Rg</a>	<a href="#">Uub</a>	<a href="#">Uut</a>	<a href="#">Uuq</a>	<a href="#">Uup</a>	<a href="#">Uuh</a>	<a href="#">Uus</a>	<a href="#">Uuo</a>
<a href="#">Uue</a>	<a href="#">Ubn</a>																

\* [La](#) [Ce](#) [Pr](#) [Nd](#) [Pm](#) [Sm](#) [Eu](#) [Gd](#) [Tb](#) [Dy](#) [Ho](#) [Er](#) [Tm](#) [Yb](#) [Lu](#)

\*\* [Ac](#) [Th](#) [Pa](#) [U](#) [Np](#) [Pu](#)