

05.00.00 ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.315.592

Б. Б. Чотонов

Примеси, в которых невозвратная пролиферирующая энергия имеет насыщенность в процессе осаждения кристаллов кремния в кремниевый стержень

На сегодняшний день мировые ученые проводя непрерывное исследования покорили микроэлектронику и ставят цель по управлению наноэлектронику.

Рынок поликристаллического кремния — очень динамичный рынок. Количество стран, владеющих технологией его выпуска постоянно увеличивается, удельный вес производства постепенно перемещается в страны Азии, расширяются мощности и традиционных компаний-производителей.

Развитие альтернативных источников энергии, в частности солнечной энергетики, требует все больше поликристаллического кремния и рафинированного кремния с массовой долей более 99,99 [6].

Основной особенностью производства кремния является его крайне высокая энергоёмкость (12—18 кВт.час/кг), поэтому среди ведущих мировых производителей кремния долгие годы прежде всего были представлены страны с развитой энергетикой (и недорогой электроэнергией), например маленькие Норвегия и Исландия [1]. А у завода Таш-Комур «Солар», в котором мы провели исследования имеется собственная ГЭС, построенная для его нужд, ведь весь производственный процесс основан на электроэнергии.

Завод Таш-Комур «Солар» в мае 2009 года провели первый пробный запуск и получили хорошие результаты. Тестовые испытания, проведенные в России, подтвердили, что продукция соответствует мировым стандартам и ничем не уступает японским и немецким аналогам [5].

Наши исследование проводилось именно над этой пробой. Во время водородного восстановления в реакторе происходят следующие реакции:

- 1) $2\text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2 \Leftrightarrow 2\text{Al} + 6\text{HCl}$
- 2) $2\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2 \Leftrightarrow 2\text{Fe} + 6\text{HCl}$
- 3) $\text{MnCl}_2 + \text{H}_2 \Leftrightarrow \text{Mn} + 2\text{HCl}$
- 4) $\text{PbCl}_2 + \text{H}_2 \Leftrightarrow \text{Pb} + 2\text{HCl}$
- 5) $\text{SnCl}_2 + \text{H}_2 \Leftrightarrow \text{Sn} + 2\text{HCl}$

- 6) $\text{CrCl}_2 + \text{H}_2 \Leftrightarrow \text{Cr} + 2\text{HCl}$
- 7) $\text{NiCl}_2 + \text{H}_2 \Leftrightarrow \text{Ni} + 2\text{HCl}$
- 8) $\text{TiCl}_4 + 2\text{H}_2 \Leftrightarrow \text{Ti} + 4\text{HCl}$
- 9) $\text{CaCl}_2 + \text{H}_2 \Leftrightarrow \text{Ca} + 2\text{HCl}$
- 10) $\text{CuCl}_2 + \text{H}_2 \Leftrightarrow \text{Cu} + 2\text{HCl}$
- 11) $2\text{BCl}_3 + 3\text{H}_2 \Leftrightarrow 2\text{B} + 6\text{HCl}$
- 12) $2\text{PCl}_3 + 3\text{H}_2 \Leftrightarrow 2\text{P} + 6\text{HCl}$
- 13) $2\text{SbCl}_3 + 3\text{H}_2 \Leftrightarrow 2\text{Sb} + 6\text{HCl}$
- 14) $\text{ZnCl}_2 + \text{H}_2 \Leftrightarrow \text{Zn} + 2\text{HCl}$

Вышестоящие реакции происходят в температурном интервале от 1473 (К) до 1573 (К). Мы провели исследование применяя невозвратной пролиферирующей энергии системы для определения протекание реакций в системе.

В данный момент примеси хлоридов имеет парогазовое состояние [3; 4]. Чтобы определить невозвратную пролиферирующую энергии системы в процессе осаждение хлоридов примесей в стержень в каждом шаге температурного интервала 1473(К)–1573(К), применяли следующие формулы:

$$\Delta S_T^0 = \Delta S_{298}^0 + a \frac{h}{T} + b(T - 298) - \frac{c}{2} \left(\frac{1}{T^2} - \frac{1}{298^2} \right) \quad (1)$$

$$\Delta S_T^0 = \left(2\Delta S_{\text{AlCl}_3} + 3\Delta S_{\text{H}_2} \right) - \left(2\Delta S_{\text{H}} + 6\Delta S_{\text{HCl}} \right) \quad (2)$$

Результаты вычислений заданы в таблице 1 и в диаграмме 1.

Выводы

Из результатов вычислений определено, что в осаждение атомов кремния в кремниевый стержень у следующих примесей: Al, Fe, Mn, Pb, Sn, Ni, Ca, Cu, P, Sb, которое, составляет 72 % от всех примесей, парогазовая сплав имеет переменное значение, поэтому, невозвратная пролиферирующая энергия, имея переменное числовое значение, не осаждается в кремниевый стержень и положительно влияет на качество кремния.

Таблица 1. Значение невозвратной пролиферирующей энергии хлоридов примесей

Реакции	ΔS	ΔS	ΔS	...	ΔS	ΔS
	Дж/мольК	Дж/мольК	Дж/мольК		Дж/мольК	Дж/мольК
	1473(K)	1474(K)	1475(K)		1572(K)	1573(K)
$2AlCl_3 + 3H_2 \leftrightarrow 2Al + 6HCl$	240,719	240,531	240,343		222,076	221,888
$2FeCl_3 + 3H_2 \leftrightarrow 2Fe + 6HCl$	497,53	497,538	497,546		498,465	498,476
$MnCl_2 + H_2 \leftrightarrow Mn + 2HCl$	127,237	127,226	127,215		126,189	126,179
$PbCl_2 + H_2 \leftrightarrow Pb + 2HCl$	63,975	63,894	63,813		55,9932	55,9129
$SnCl_2 + H_2 \leftrightarrow Sn + 2HCl$	119,767	119,749	119,731		118,038	118,021
$CrCl_2 + H_2 \leftrightarrow Cr + 2HCl$	136,467	136,468	136,469		136,633	136,635
$NiCl_2 + H_2 \leftrightarrow Ni + 2HCl$	170,831	170,847	170,862		172,399	172,415
$TiCl_4 + 2H_2 \leftrightarrow Ti + 4HCl$	246,333	246,33	246,328		246,18	246,179
$CaCl_2 + H_2 \leftrightarrow Ca + 2HCl$	142,972	142,963	142,953		142,072	142,064
$CuCl_2 + H_2 \leftrightarrow Cu + 2HCl$	93,562	93,5125	93,4631		88,6964	88,6476
$2BCl_3 + 3H_2 \leftrightarrow 2B + 6HCl$	128,826	128,821	128,816		128,44	128,437
$2PCl_3 + 3H_2 \leftrightarrow 2P + 6HCl$	160,203	160,189	160,175		158,855	158,842
$2SbCl_3 + 3H_2 \leftrightarrow 2Sb + 6HCl$	45,1469	44,7753	44,4037		8,27705	7,90381
$ZnCl_2 + H_2 \leftrightarrow Zn + 2HCl$	160,469	160,469	160,469		160,487	160,487

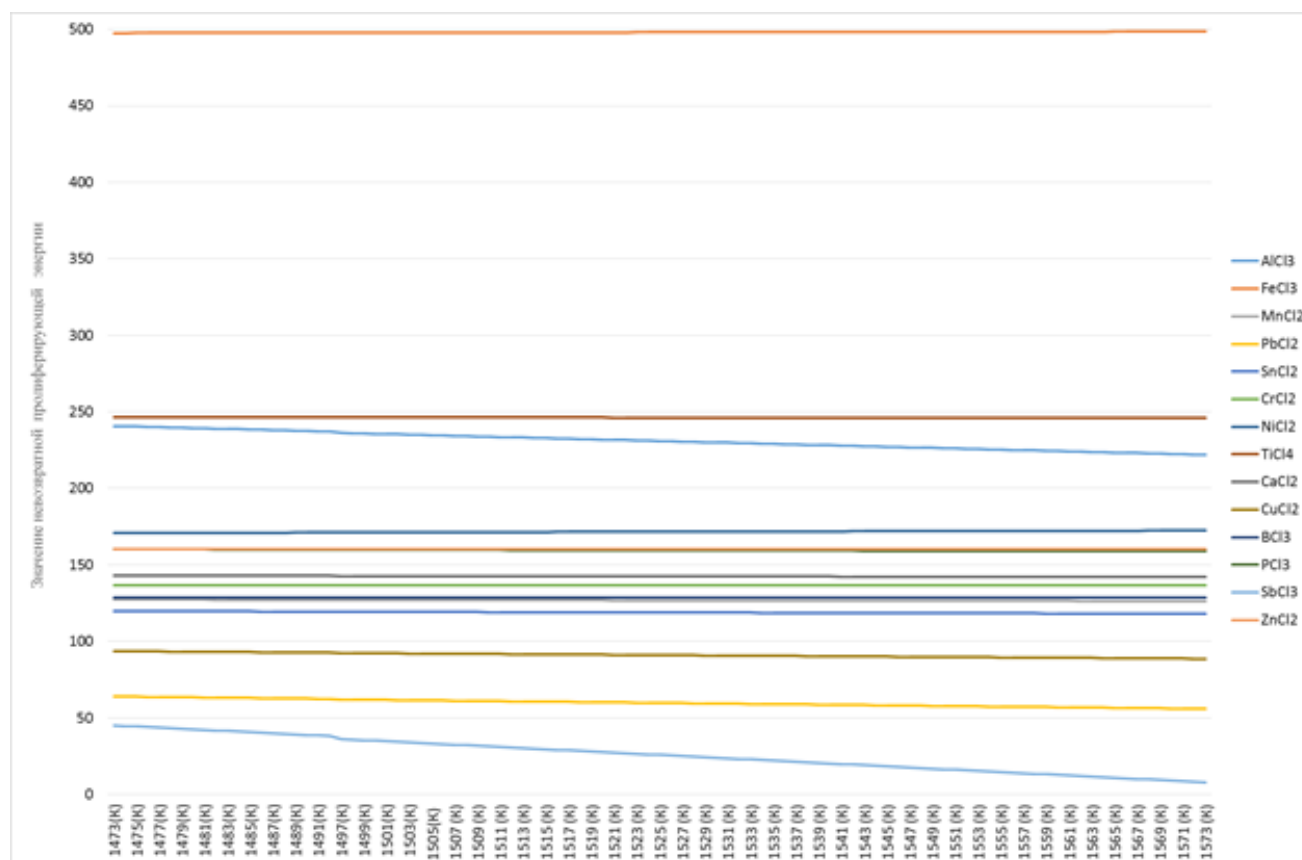


Диаграмма 1. Значение невозвратной пролиферирующей энергии хлоридов примесей при осаждении в стержень

У 28% примесей системы, как Cr, Ti, Zn, В парогазовой смеси стремиться к насыщению, исходя из этого, их невозвратная пролиферирующая энергия тоже стремиться к насыщению. На основе этого атомы вышестоящих примесей осаждаются на кремниевый стержень, и они отрицательно влияют на качество продукции, а примесь бора (В), повышая электронную проводимость, оказывает положительное влияние.

Литература

1. Обзор рынка технического кремния в СНГ. Издание 9-е дополненное и переработанное. Москва, 2015.
2. Чотонов Б.Б. Исследование невозвратную пролиферирующую энергию (dS) примесей хлорида алюминия ($AlCl_3$) в процессе ректификации трихлорсилана // Наука, техника и инновации: гипотезы, проблемы, результаты: сборник научных трудов по материалам XI Международного междисциплинарного форума молодых ученых. Москва, 2017. С. 352–358.

3. Чотонов Б. Б. Определение максимум невозвратной пролиферирующей энергии примесей хлоридов в процессе ректификации трихлорсилана // Точная наука. 2017. № 4 (4). С. 16–20.
4. Чотонов Б. Б. Исследование термодинамических процессов очистки хлоридов кремния // Verlag. Изд. LAP LAMBERT Academic Publishing, Германия, 2017. С. 1–75.
5. <https://24.kg/archive/ru/economics/121407-kristalnaya-yeropeya.html>
6. http://niitehimlaz.2mcl.com/view_cat.php?cat=101