

ПРОБЛЕМАТИКА ПЕРЕРАБОТКИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

А.С. Горшков, А.В. Губин, В.Е. Губин

Томский политехнический университет,
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, гр. А2-46

Научный руководитель: В.Е. Губин, к.т.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ

Последнее десятилетие солнечная энергетика демонстрировала уверенный рост по объемам генерации, причем согласно прогнозам IEA [1] ожидается увеличение доли солнечной энергетике до 22,2 % к 2027 году (рис. 1). Особенность солнечных панелей заключается также в том, что они являются одним из немногих и самых распространенных источников электроэнергии на бытовом уровне, что не ограничивает их распространение на крупных генерирующих кластерах. Срок эксплуатации панелей составляет 25–30 лет [2], таким образом уже к 2040 году будет необходимо выводить из эксплуатации достаточно большое количество солнечных панелей, именно поэтому зарубежные и отечественные исследователи ищут оптимальный вариант. Прямое захоронение панелей нежелательно из-за возможной миграции тяжелых металлов в почву и грунтовые воды [3].

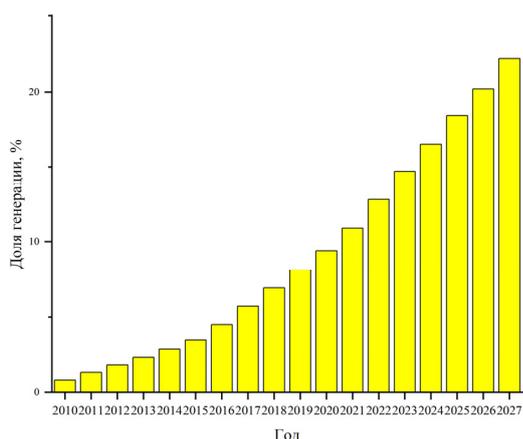


Рис. 1. Доля в генерации электроэнергии солнечных панелей [1]

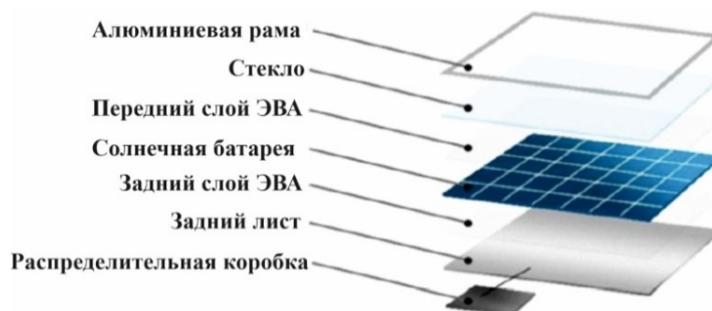


Рис. 2. Типичная сборочная конструкция фотоэлектрического модуля [5]

Типовой сборный модуль (рис. 2) состоит из алюминиевой рамы, стекла, фотоэлектрических ячеек и органического связующего, обеспечивающего фиксацию и прочность, при отличной светопроводимости этиленвинилацетат (ЭВА).

Для возможности извлечения металлов и кремния из утилизированной солнечной панели после механического измельчения применяется термический и химический способ удаления органической части. При термической обработке также осуществляется фрагментирование материала.

Объектом исследования является солнечная панель на основе кристаллического кремния (с-Si панель). Был выполнен термический анализ с использованием термического анализатора STA 449 F3 Jupiter (NETZSCH, Германия). Производилась декомпозиция в инертной среде, через тигель с образцом проходило 150 мл/мин аргона, скорость нагрева – 10 °С. Результат представлен на рис. 3.

Потеря массы составила 16 %, разложения представлено двумя участками. I участок (270–375 °С) – деполимеризация с формированием преимущественно уксусной кислоты. II участок (375–500 °С) – формирование углеводородов, преимущественно олефинов [6]. По результатам термического анализа выбрана температура реализации пиролиза – 500 °С.

Пиролиз выполнялся в атмосфере азота с подключением поточного газоанализатора Тест-1 (Бонэр, Россия). Согласно концентрационным кривым рекомендуется дожигание отходящих газов, так как присутствуют СО и СН₄, эмиссии водорода не наблюдалось.

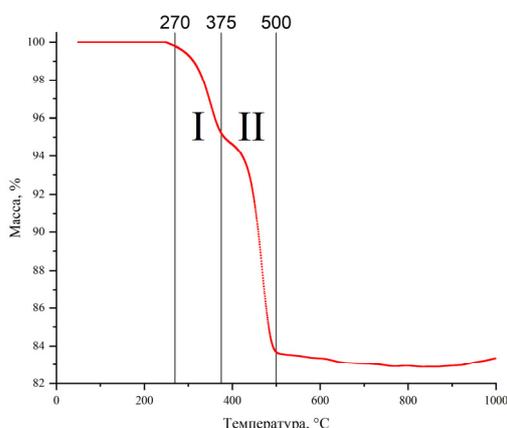


Рис. 3. Изменение массы солнечной панели типа c-Si

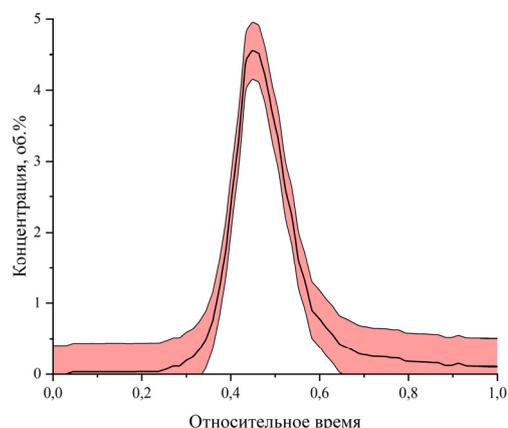


Рис. 4. Концентрационная кривая СН₄

Полученный остаток был проанализирован с использованием рентгенофлуоресцентного анализатора S1 TITAN (Bruker, США). Как в остатке, так и во фракционированном образце наблюдается большое количество кремния, в меньшей степени – алюминия, серебра и титана.

Таблица 1. Элементный состав полученного остатка, мас. %

| Элемент | Исходный остаток | Остаток размера фракции <0,2 мм |
|---------|------------------|---------------------------------|
| Si | 61,23 | 44,39 |
| Al | 22,19 | 13,75 |
| Ag | 5,14 | 12,82 |
| Ti | 4,42 | 15,05 |
| Fe | 2,52 | 0,7 |
| Sb | 1,9 | 0,86 |
| Pb | 1,06 | 6,88 |
| Sn | 0,85 | 4,74 |

Следующим этапом является применение или разделение полученного многокомпонентного остатка. Высокое содержание кремния обеспечивает возможность высокотемпературного плазменного синтеза карбида кремния.

Исследование выполнено за счет средств проекта Государственное задание высшим учебным заведениям РФ FSWW-2022-0018.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IEA, Share of cumulative power capacity by technology, 2010-2027 // IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/share-of-cumulative-power-capacity-by-technology-2010-2027> (дата обращения: 30.10.2023).
2. A review of end-of-life crystalline silicon solar photovoltaic panel recycling technology / X. Wang, X. Tian, X. Chen, L. Ren, C. Geng // Solar Energy Materials and Solar Cells. – 2022. – V. 248. – P. 111976.
3. Environmental impacts of utility-scale solar energy / R.R. Hernandez, S.B. Easter, M.L. Murphy-Mariscal et al. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – V. 29. – P. 766–779.
4. Back EVA recycling from c-Si photovoltaic module without damaging solar cell via laser irradiation followed by mechanical peeling / X. Li, H. Liu, J. You, H. Diao, L. Zhao, W. Wang // Waste Management. – 2022. – V. 137. – P. 312–318.
5. Pyrolysis-based separation mechanism for waste crystalline silicon photovoltaic modules by a two-stage heating treatment / R. Wang, E. Song, C. Zhang, X. Zhuang, E. Ma, J. Bai, W. Yuan, J. Wang // RSC Advances. – 2019. – V. 9. – P. 18115–18123.