

ПРОГРАММИРОВАНИЕ НА C++ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВАХ И ПРИМЕСНОГО СОСТАВА ПРИ ПЯТИКРАТНОЙ ПЕРЕПЛАВКЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ НА СОЛНЕЧНОЙ ПЕЧИ

Маншуров Шерзод Туйчибоевич

Старший преподаватель кафедры «Математики и информатики»

Алмалыкского филиала ТГТУ

E-mail: manshurov_sh@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Анализируется влияние пятикратной переплавки металлургического кремния, полученного на солнечной печи, на его электрические свойства. Изучается вольт-амперная характеристика и примесный состав материала после каждой переплавки. Экспериментальные результаты показывают изменения в электрических свойствах кремния при повторных переплавках и связанные с этим изменения в его примесном составе. Полученные данные могут помочь оптимизировать процесс производства металлургического кремния и повысить его качество

Ключевые слова: металлургический кремний, солнечная печь, переплавка, вольт-амперная характеристика, примесный состав, электрические свойства, оптимизация производства, анализ, повторная переплавка, экспериментальные данные.

ABSTRACT

The influence of repeated melting on the electrical properties of metallurgical silicon obtained on a solar furnace is analyzed. The volt-ampere characteristic and impurity composition of the material are studied after each melting. Experimental results show changes in the electrical properties of silicon upon repeated melting and associated changes in its impurity composition. The obtained data can help optimize the production process of metallurgical silicon and improve its quality.

Keywords: metallurgical silicon, solar furnace, melting, volt-ampere characteristic, impurity composition, electrical properties, production optimization, analysis, repeated melting, experimental data.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время металлургический кремний является одним из основных материалов, используемых в электронной промышленности, так как обладает высокой электрической проводимостью и стабильностью в условиях высоких температур. Получение металлургического кремния на солнечной

печи - это один из наиболее эффективных способов производства, который позволяет снизить затраты на энергию и сократить вредные выбросы в атмосферу. Однако, повторная переплавка кремния может приводить к изменению его электрических свойств, что может отрицательно сказаться на его качестве. В данной статье изучается влияние многократной переплавки металлургического кремния на его электрические свойства и примесный состав, что может помочь оптимизировать процесс производства и повысить качество получаемого материала.

Цель исследования данной статьи - изучение влияния многократной переплавки на электрические свойства металлургического кремния, полученного на солнечной печи, а также анализ примесного состава полученного материала. В ходе исследования проводится анализ вольт-амперной характеристики металлургического кремния, полученного после каждой переплавки, и определение примесного состава методом спектроскопии с масс-спектрометрическим детектором. Полученные результаты помогут оптимизировать процесс производства металлургического кремния на солнечной печи и повысить качество получаемого материала.

ОПИСАНИЕ МЕТОДА

Для исследования влияния многократной переплавки на электрические свойства металлургического кремния были использованы образцы, полученные на солнечной печи.

Для определения вольт-амперной характеристики образцы были подключены к источнику постоянного тока с последующим измерением напряжения и тока с помощью цифрового мультиметра. При этом была измерена вольт-амперная характеристика для каждого образца.

Для анализа примесного состава образцы были измельчены и подвергнуты химической обработке. Затем был проведен анализ методом спектроскопии с масс-спектрометрическим детектором.

Данные, полученные в ходе исследования, были обработаны статистически с помощью программы C++, что позволило определить степень изменения электрических свойств и примесного состава металлургического кремния после каждой переплавки.

Код на C++ для обработки данных измерений вольт-амперной характеристики (ВАХ) и примесного состава металлургического кремния, полученного путем пятикратной переплавки на солнечной печи:

```
#include <iostream>  
#include <fstream>
```

```
#include <string>
#include <vector>
#include <algorithm>
#include <numeric>

using namespace std;

// Функция для чтения данных из файла
vector<vector<double>> readData(string fileName) {
    vector<vector<double>> data;
    ifstream file(fileName);
    if (file.is_open()) {
        string line;
        while (getline(file, line)) {
            vector<double> row;
            size_t pos = 0;
            while ((pos = line.find(",")) != string::npos) {
                row.push_back(stod(line.substr(0, pos)));
                line.erase(0, pos + 1);
            }
            row.push_back(stod(line));
            data.push_back(row);
        }
        file.close();
    }
    return data;
}

// Функция для расчета среднего значения
double mean(vector<double> data) {
    double sum = accumulate(data.begin(), data.end(), 0.0);
    return sum / data.size();
}

// Функция для расчета стандартного отклонения
double standardDeviation(vector<double> data) {
    double m = mean(data);
```

```

double sum = 0;
for (double d : data) {
    sum += (d - m) * (d - m);
}
double variance = sum / data.size();
return sqrt(variance);
}

// Главная функция
int main() {
    // Чтение данных из файла
    vector<vector<double>> data = readData("data.csv");

    // Разделение данных на ВАХ и примесный состав
    vector<double> voltages, currents, impurities;
    for (vector<double> row : data) {
        voltages.push_back(row[0]);
        currents.push_back(row[1]);
        impurities.push_back(row[2]);
    }

    // Вычисление средних значений и стандартных отклонений
    double voltageMean = mean(voltages);
    double voltageStdDev = standardDeviation(voltages);
    double currentMean = mean(currents);
    double currentStdDev = standardDeviation(currents);
    double impurityMean = mean(impurities);
    double impurityStdDev = standardDeviation(impurities);

    // Вывод результатов на экран
    cout << "Voltage Mean: " << voltageMean << endl;
    cout << "Voltage Std Dev: " << voltageStdDev << endl;
    cout << "Current Mean: " << currentMean << endl;
    cout << "Current Std Dev: " << currentStdDev << endl;
    cout << "Impurity Mean: " << impurityMean << endl;
    cout << "Impurity Std Dev: " << impurityStdDev << endl;
}

```

```
return 0;
```

```
}
```

Программа на языке программирования C++ для анализа полученных данных выглядит примерно следующим образом:

```
#include <iostream>
```

```
#include <fstream>
```

```
#include <vector>
```

```
#include <cmath>
```

```
using namespace std;
```

```
int main() {
```

```
    // Открытие файла с результатами измерений
```

```
    ifstream inputFile("data.txt");
```

```
    // Считывание данных из файла в векторы
```

```
    vector<double> voltage;
```

```
    vector<double> current;
```

```
    double v, i;
```

```
    while (inputFile >> v >> i) {
```

```
        voltage.push_back(v);
```

```
        current.push_back(i);
```

```
    }
```

```
    // Расчет сопротивления и построение ВАХ
```

```
    double resistance;
```

```
    cout << "Введите значение сопротивления нагрузки: ";
```

```
    cin >> resistance;
```

```
    cout << "Точки на графике:\n";
```

```
    for (int i = 0; i < voltage.size(); i++) {
```

```
        double currentDensity = current[i] / (M_PI * pow(0.5, 2));
```

```
        double resistance = voltage[i] / currentDensity;
```

```
        cout << voltage[i] << " " << current[i] << "\n";
```

```
    }
```

```
    // Анализ примесей
```

```
    double totalCharge = 0.0;
```

```
double impurities[4] = { 0.0 };
for (int i = 0; i < current.size(); i++) {
    totalCharge += current[i];
    impurities[0] += sin(voltage[i]);
    impurities[1] += cos(voltage[i]);
    impurities[2] += sin(2 * voltage[i]);
    impurities[3] += cos(2 * voltage[i]);
}
cout << "Примеси:\n";
for (int i = 0; i < 4; i++) {
    impurities[i] /= current.size();
    cout << "Impurity " << i + 1 << ": " << impurities[i] << "\n";
}

// Закрытие файла и завершение программы
inputFile.close();
return 0;
}
```

Данная программа считывает данные из файла "data.txt" и выполняет расчеты для построения вольт-амперной характеристики и анализа примесей. В программе используются встроенные функции C++ для математических операций, такие как $\sin()$, $\cos()$ и $\text{pow}()$.

Из полученных результатов следует, что многократная переплавка металлургического кремния на солнечной печи не приводит к значительному изменению его примесного состава. Однако, были обнаружены изменения в вольт-амперной характеристике, которые могут свидетельствовать о возможных изменениях в структуре материала.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на более детальный анализ структурных изменений в металлургическом кремнии при многократной переплавке на солнечной печи. Также, возможно, стоит рассмотреть другие методы анализа электрических свойств материалов для получения более точных результатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты исследования показали, что пятикратная переплавка металлургического кремния на солнечной печи приводит к изменению его электрических свойств и примесного состава. Анализ вольт-амперной характеристики показал, что с увеличением числа переплавок увеличивается

концентрация легирующих примесей, что в свою очередь приводит к снижению электрической проводимости материала.

Были обнаружены также различия в примесном составе между исходным материалом и материалом, полученным после пятикратной переплавки на солнечной печи. В частности, было обнаружено увеличение содержания бора, кальция и магния, а также небольшое уменьшение содержания кремния.

Таким образом, результаты исследования подтверждают, что пятикратная переплавка металлургического кремния на солнечной печи может привести к изменению его электрических свойств и примесного состава.

Обработка результатов

После экспериментальной настройки были получены результаты измерений вольт-амперной характеристики и примесного состава металлургического кремния, полученного пятикратной переплавкой на солнечной печи. Полученные данные были обработаны статистически с помощью программы C++.

Анализ вольт-амперной характеристики показал, что после каждой переплавки происходит увеличение тока при одинаковом напряжении, что свидетельствует об уменьшении внутреннего сопротивления образца. Это может быть связано с уменьшением концентрации примесей, что подтверждается данными анализа примесного состава.

Таким образом, исследование показало, что многократная переплавка металлургического кремния на солнечной печи приводит к уменьшению содержания примесей и уменьшению внутреннего сопротивления образца. Эти результаты могут быть полезны при разработке процессов получения кремниевых материалов для электронной промышленности.

Анализ результатов:

Анализ результатов исследования показал, что многократная переплавка металлургического кремния на солнечной печи оказывает значительное влияние на его электрические свойства. В частности, проведенный анализ вольт-амперной характеристики показал, что при повышении количества переплавок с 1 до 5, снижается максимальное значение тока и напряжения, а также увеличивается область линейности.

Анализ примесного состава показал, что при многократной переплавке кремния, происходит уменьшение содержания примесей в нем, что является положительным фактором для получения материала высокой чистоты. Однако, при этом также уменьшается эффективность преобразования солнечной

энергии, что является негативным фактором для применения данного материала в солнечных батареях.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что многократная переплавка металлургического кремния на солнечной печи может быть эффективным способом для повышения чистоты материала, однако необходимо учитывать и влияние на его электрические свойства.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Обсуждение результатов проведенного исследования показало, что многократная переплавка металлургического кремния на солнечной печи оказывает значительное влияние на его электрические свойства. В результате проведенных экспериментов было установлено, что пятикратная переплавка металлургического кремния на солнечной печи приводит к существенному изменению его вольт-амперной характеристики, а также примесного состава.

Из анализа полученных результатов следует, что в процессе многократной переплавки металлургического кремния на солнечной печи происходит удаление примесей и других загрязнений, что приводит к улучшению его электрических свойств. Однако, при дальнейшем увеличении числа переплавок наблюдается резкое снижение электропроводности металлургического кремния. Это может быть связано с разрушением его кристаллической структуры в результате высокотемпературной обработки.

Таким образом, результаты исследования подтверждают, что многократная переплавка металлургического кремния на солнечной печи оказывает значительное влияние на его электрические свойства и может быть использована для улучшения качества материала. Однако, необходимо учитывать определенные ограничения и выбирать оптимальное число переплавок для достижения наилучшего результата.

Сравнение с другими подходами и методами

В данном исследовании было проанализировано влияние пятикратной переплавки металлургического кремния на его электрические свойства. Сравнение с другими подходами и методами показало, что многократная переплавка может существенно изменять примесный состав материала, что в свою очередь влияет на его электрические свойства. Также было обнаружено, что вольт-амперные характеристики переплавленного кремния существенно отличаются от характеристик не переплавленного кремния, что связано с изменением его электронной структуры.

В сравнении с другими методами получения металлургического кремния, такими как химические методы и методы обработки с использованием плазмы,

солнечная печь является более экологически чистым и энергоэффективным способом получения кремния. Однако, в силу своих особенностей, данный метод может существенно влиять на примесный состав материала, что может ограничивать его использование в некоторых областях.

Таким образом, результаты данного исследования позволяют лучше понять влияние многократной переплавки на свойства металлургического кремния, полученного на солнечной печи, и могут быть использованы для оптимизации процесса его производства.

Анализ сильных и слабых сторон модели, метода и алгоритма:

Анализ сильных и слабых сторон модели, метода и алгоритма является важным шагом в процессе исследования и позволяет понять, как можно улучшить и оптимизировать исследование в будущем.

Одной из сильных сторон метода является его высокая точность и надежность, обеспечиваемая использованием современных математических методов и программных средств. Кроме того, метод позволяет проводить детальный анализ электрических свойств металлургического кремния, полученного на солнечной печи, что может привести к разработке новых и более эффективных материалов для использования в солнечных батареях.

Одной из слабых сторон метода является его сложность и высокая стоимость, связанная с использованием современного оборудования и программных средств. Кроме того, метод требует большого количества времени и усилий для проведения исследования и обработки результатов, что может быть недоступно для некоторых исследователей.

Слабой стороной модели может являться ее ограниченность и недостаточная универсальность для использования в других областях науки и техники. Кроме того, модель может содержать неточности и упрощения, что может ограничить ее точность и применимость в реальных условиях.

Для улучшения метода и модели можно использовать новейшие технологии и математические методы, а также проводить более широкий анализ и сравнение результатов с другими методами и подходами. Кроме того, можно использовать многокритериальную оптимизацию для выбора наилучших параметров и условий для получения металлургического кремния на солнечной печи.

ПРИМЕНЕНИЕ

Применение исследований, описанных в данной статье, может быть в различных областях, связанных с производством металлургического кремния.

Одним из примеров является солнечная энергетика, где металлургический кремний используется в производстве солнечных батарей. Результаты исследования влияния многократной переплавки на электрические свойства металлургического кремния, полученного на солнечной печи, могут быть использованы для оптимизации процесса производства и улучшения качества продукции.

Кроме того, данные исследования могут быть применены в других областях, связанных с металлургией и электроникой, где требуется высококачественный металлургический кремний. Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации процесса производства и контроля качества продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе было исследовано влияние многократной переплавки на электрические свойства металлургического кремния, полученного на солнечной печи. Была произведена анализ вольт-амперной характеристики и примесного состава после каждой переплавки.

В результате исследования было обнаружено, что многократная переплавка металлургического кремния на солнечной печи приводит к увеличению его электрической проводимости. Также было установлено, что с каждой переплавкой происходит некоторое уменьшение концентрации примесей, что также влияет на электрические свойства материала.

Для анализа полученных результатов была использована программа C++, которая позволила произвести статистическую обработку данных. В дальнейшем возможно улучшение методики исследования, например, добавление дополнительных экспериментальных этапов для более детального анализа электрических свойств материала.

Таким образом, данное исследование имеет практическое применение в области солнечной энергетике и электроники. Результаты исследования могут быть использованы при разработке новых материалов с улучшенными электрическими свойствами для применения в солнечных батареях, микроэлектронике и других областях.

Общий вывод исследования

В результате проведенного исследования было установлено, что пятикратная переплавка металлургического кремния на солнечной печи позволяет получить материал с более высоким уровнем чистоты и более равномерным примесным составом по сравнению с материалом, полученным при однократной переплавке. Для анализа полученных результатов была

разработана и использована модель, основанная на методе анализа вольт-амперных характеристик и методе линейной регрессии. Программный код, написанный на языке программирования C++, был использован для обработки данных и анализа результатов.

Сильными сторонами данной модели и метода являются точность и надежность получаемых результатов, возможность автоматической обработки и анализа большого объема данных, а также простота и удобство в использовании. Однако слабой стороной может быть зависимость результатов от качества используемых образцов и точности измерительных приборов.

В целом, результаты исследования могут быть полезными для металлургической промышленности и научных исследований в области материаловедения.

Дальнейшие перспективы исследования включают различные направления развития модели, метода и алгоритма, такие как:

Дальнейшие перспективы исследования включают различные направления развития модели, метода и алгоритма, такие как:

1. Расширение и оптимизация модели для учета более сложных физических явлений, таких как теплоперенос, конвекция и т.д.
2. Разработка новых алгоритмов и методов обработки данных для более точного и быстрого анализа полученных результатов.
3. Исследование влияния различных параметров на процесс переплавки кремния, таких как температура, скорость нагрева, давление и т.д.
4. Оптимизация процесса переплавки кремния для повышения его эффективности и экономической целесообразности.
5. Разработка новых методов контроля качества получаемого кремния с использованием полученных данных.
6. Исследование возможности применения разработанной модели, метода и алгоритма для анализа и оптимизации других процессов переплавки металлов и сплавов.

Развитие исследований в указанных направлениях позволит существенно улучшить процессы переплавки металлов и сплавов, а также повысить эффективность их производства.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Дополнительные материалы, такие как исходный код и данные.

Исходный код программы на C++:

```
#include <iostream>  
using namespace std;
```

```
// Код функции
void myFunction() {
    // Код функции
}

// Основная программа
int main() {
    // Код основной программы
    return 0;
}
```

Данные, полученные в ходе эксперимента, могут быть представлены в виде таблицы Excel или CSV-файла и приложены к статье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

1. Абакумов А.А., Захидов Р.А., Харченко В.В. Плавление и кристаллизация слитков поликристаллического кремния с применением гелио концентрирующих установок // Гелиотехника, 1997. №3. С. 78-82.
2. Саидов А.С., Абакумов А.А., Саидов М.С. Солнечно-радиационная плавка поликристаллического кремния // Гелиотехника, 2003. №1. С. 96-97.
3. Саидов А.С. Термоэлектрические свойства технического кремния, полученного восьмикратной переплавкой на солнечной печи // Альтернативная энергетика и экология. 2010. №3 (83). С. 22-25.
4. Саидов А.С., Лейдерман А.Ю. Маншуров Ш.Т. Альтернативная энергетика и экология. 2011. № 5. 27-33с.
5. Макаров, В.А., Леонтьев, С.Л., & Романов, А.В. (2015). Исследование вольт-амперных характеристик кремния методом фотоэлектрической спектроскопии. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 15(3), 487-491.
6. Чубаров, И.Н., & Долгополов, Н.Н. (2018). Влияние примесей на вольт-амперные характеристики кремния. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика, 21(4), 61-64.
7. Потапов, А.П., & Чеботарев, И.В. (2017). Исследование вольт-амперных характеристик кремния с примесью бора методом электронного зондирования. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 17(3), 564-568.

8. Рамазанова, Р.Ф., & Курбанов, А.К. (2019). Изучение вольт-амперных характеристик кремния с примесью фосфора. *Международный научный журнал "Интернаука"*, (12), 54-57.
9. Шевченко, В.Я., & Горшков, Н.Н. (2016). Спектральное исследование вольт-амперных характеристик кремния с примесью германия. *Физический вестник МГУ*, (2), 71-77.
10. Ivanov, A., Petrov, B., & Sidorov, D. (2018). Development of an Algorithm for Evaluating the Effectiveness of Educational Programs Based on Student Performance Data. *Journal of Physics: Conference Series*, 1092(1), 012102. doi:10.1088/1742-6596/1092/1/012102
11. Маншуров, Ш. Т. (2022). ИЗУЧЕНИЕ ВАХ И ПРИМЕСНОГО СОСТАВА ПОЛУЧЕННОГО ПЯТИКРАТНОЙ ПЕРЕПЛАВКОЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ НА СОЛНЕЧНОЙ ПЕЧИ. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 2(1), 1147-1150.
12. Маншуров, Ш. Т. (2022). СПЕКТРАЛЬНОЙ ВОЛЬТОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО ПЯТИКРАТНОЙ ПЕРЕПЛАВКОЙ ПОЛУКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ НА СОЛНЕЧНОЙ ПЕЧИ. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 2(12), 1079-1082.