

МОДЕЛИРАНЕ И СИМУЛАЦИЯ ЧРЕЗ SOLIDWORKS API НА РОБОТИ ЗА МАНИПУЛИРАНЕ НА СИЛИЦИЕВИ ПЛАСТИНИ

Николай Братованов, Владимир Заманов

Резюме: В статията е описан подход за моделиране и симулация на движенията на манипулационни роботи за пренасяне на силициеви пластини, използвайки приложно-програмния интерфейс SolidWorks API (Application Programming Interface). Наличието на 3D модели на роботите и директният достъп до обектния модел на SolidWorks дават възможност за изграждане на симулационно VBA (Visual Basic for Applications) приложение. Получаването на точна информация за движенията се осъществява чрез връзка между приложението и управляващия софтуер на роботите. Описани са и методи за анализиране на потребителски сценарии, извършване на офлайн програмиране и създаване на демонстрационни материали.

Ключови думи: 3D моделиране, манипулационни роботи, симулация на движения, приложно-програмен интерфейс, анализиране на потребителски сценарии, офлайн програмиране;

MODELING AND SIMULATION OF ROBOTS FOR SEMICONDUCTOR AUTOMATION BY USING SOLIDWORKS API

Nikolay Bratovanov, Vladimir Zamanov

Abstract: The article describes an approach to modeling and motion simulation of wafer handling robots, applicable in the semiconductor automation by using SolidWorks API (Application Programming Interface). The motion simulation is based on a VBA (Visual Basic for Applications) application which uses the already available 3D models and the direct access to the SolidWorks object model. In order to obtain realistic motion information, the application has been connected to the native robot motion control software. In addition, the article addresses methods for effective analysis of customer layouts, offline programming and creating high-quality demo materials.

Keywords: 3D modeling, manipulating robots, motion simulation, application programming interface, customer layouts analysis, offline programming;

1. Въведение

Манипулационните работи в полупроводниковата индустрия представляват специфичен клас цилиндрични манипулатори със сгъваща се ръка [1]. Едни от най-често манипулираните обекти са силициевы пластини, плоски екрани и соларни панели. Завишената сложност на процесите и изискването за работа в чисти производствени среди определят високите критерии, отнасящи се към производителността, надеждността, точността и чистотата на роботите [2]. Освен с подобряване на механиката и оптимизиране на управлението, усъвършенстването на роботизираните системи в полупроводниковата индустрия е свързано и с развитието на системите за симулация и офлайн програмиране. С тяхна помощ се реализира значително съкращаване на процеси като обучаване на роботите и внедряването им в потребителски системи. За целта се използват компютърни програми, които могат да се разделят на две основни групи – универсални CAD пакети и специализирани 3D симулатори. Статията се съсредоточава върху първата група и по-конкретно - върху симулационните възможности на популярния 3D моделер SolidWorks.

2. Основна цел и задачи на разработката

Използването на CAD системи за целите на проектирането и дизайна е неразривна част от съвременната индустрия, включително и в производството на манипулационни работи. Именно поради тази причина извършването на симулации с помощта на наличния CAD софтуер и съществуващите модели на манипулаторите представлява едно интелигентно решение, спестяващо време и средства [3]. Същевременно се осигуряват възможности, еквивалентни на специализираните 3D симулатори като проверка за колизии, оценка на точност, планиране на траектории и извършване на тестове в безопасна среда.

Основната цел на настоящата разработка представлява изграждане на подход за моделиране и симулация на работи за манипулиране на силициевы пластини, използвайки приложно-програмния интерфейс SolidWorks API. За постигането ѝ се изгражда симулационно приложение, базирано на VBA процедури, даващи достъп до пълната функционалност на CAD пакета SolidWorks. В тази връзка се решават три основни задачи:

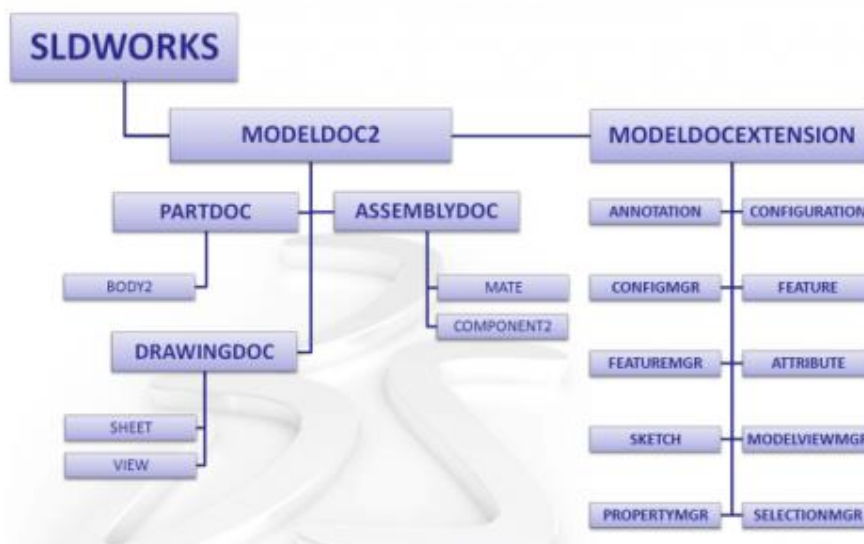
- а) Моделиране на манипулационни работи чрез SolidWorks API.
- б) Разработване на симулационен софтуер чрез SolidWorks API.
- в) Провеждане на експерименти и изследване на приложението.

3. Моделиране на манипулационни работи чрез SolidWorks API

Осъществяването на разработката изисква предварително запознаване със структурата на приложно-програмния интерфейс на SolidWorks, както и спазване на някои основни принципи при подготовката на тримерните модели на роботите. В следващите точки се разглеждат особеностите, имащи най-съществено влияние върху функционалността на бъдещото симулационно приложение.

3.1. SolidWorks API – структура, основни методи и интерфейси

Приложно-програмният интерфейс на SolidWorks предоставя директен достъп до обектния модел на пакета [4]. Той представлява йерархична структура от обекти, даващи възможност за реализиране на разнообразни функции (фиг.1). Всички действия в SolidWorks API се извършват от или към обектите като най-висшият от тях е ISldWorks [5]. Всички останали обекти се намират под него като тяхното извикване се извършва индиректно.

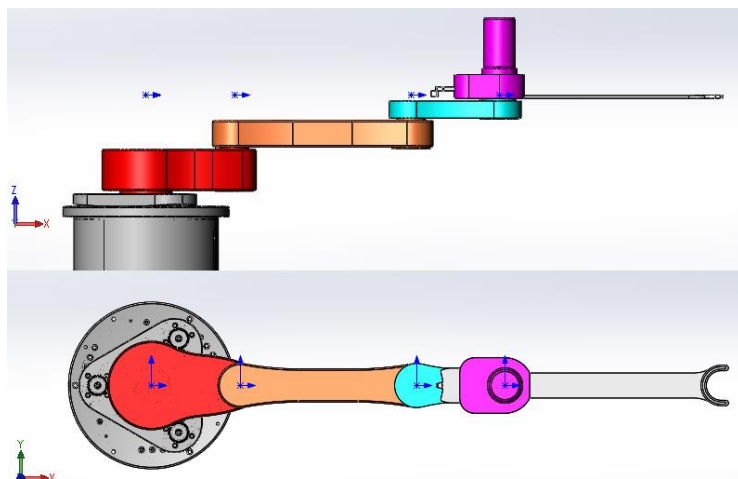


Фиг.1. Йерархична структура на обектния модел на SolidWorks.

Използването на интерфейсите в SolidWorks API се осъществява с помощта на потребителски програми, които могат да бъдат написани на едни от най-разпространените езици за програмиране. За целите на конкретната задача се създава VBA код, който изгражда връзки между отделните обекти на моделите. Осъществяват се три основни процедури - селектиране на компоненти, трансформация на матрици и задвижване на обекти в пространството.

3.2. Анализ и модифициране на съществуващите 3D модели

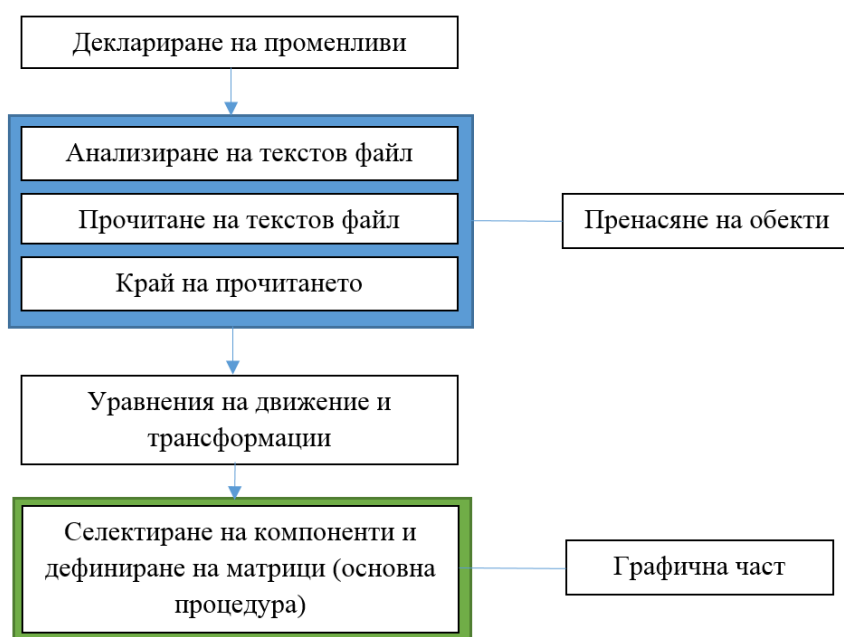
Разработването на симулационно приложение изисква използването на 3D модели, съвместими с описаните методи и интерфейси на SolidWorks API. Препоръчително е моделите да съдържат минимален брой връзки и да са максимално опростени по отношение на сложни повърхнини, задвижващи механизми и други елементи, намиращи се в звената и в тялото на роботите. Поради тази причина се използват модели, осигуряващи информация, свързана единствено с външната геометрия на компонентите. За успешното реализиране на задачата е необходимо преориентиране на всички компоненти на роботите и еднозначно позициониране на началните им координатни системи по метода на Денавит и Хартенберг. Целта е улесняване на процеса по задвижване на моделите с помощта на матрични трансформации. След подготвянето на отделните компоненти се преминава към изграждане на нови сглобени единици, които в последствие се използват за симулация на движенията в SolidWorks (фиг.2).



Фиг.2. Модифицирана сглобена единица на манипуляционен робот.

4. Разработване на симулационен софтуер чрез SolidWorks API

След подготвянето на сглобени единици се преминава към същинската част на задачата – разработване на софтуер чрез SolidWorks API. За целта се създава VBA програма, чиято основна функция е прочитане на данни за преместванията, постъпващи от управляващия софтуер и използването им за задвижване на отделните компоненти, изграждащи роботите. Структурата на програмата има следния общ вид (фиг.3):



Фиг.3. Структура на VBA програмата, изграждаща симулационното приложение.

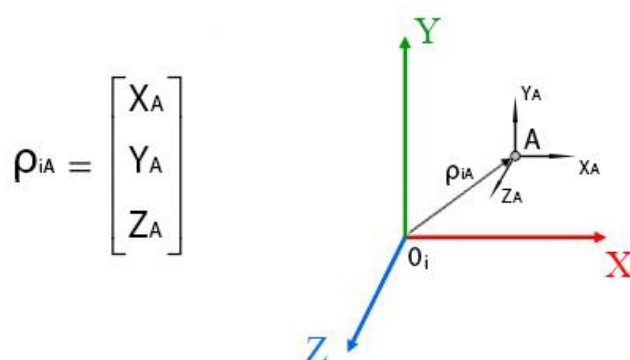
Процедурите, необходими за правилното функциониране на симулационното приложение се разглеждат в следващите точки.

4.1. Задвижване на модифицираните 3D модели

Задвижването на сглобени единици в SolidWorks налага предварително селектиране на всички подвижни компоненти на роботите, съществуващи под формата

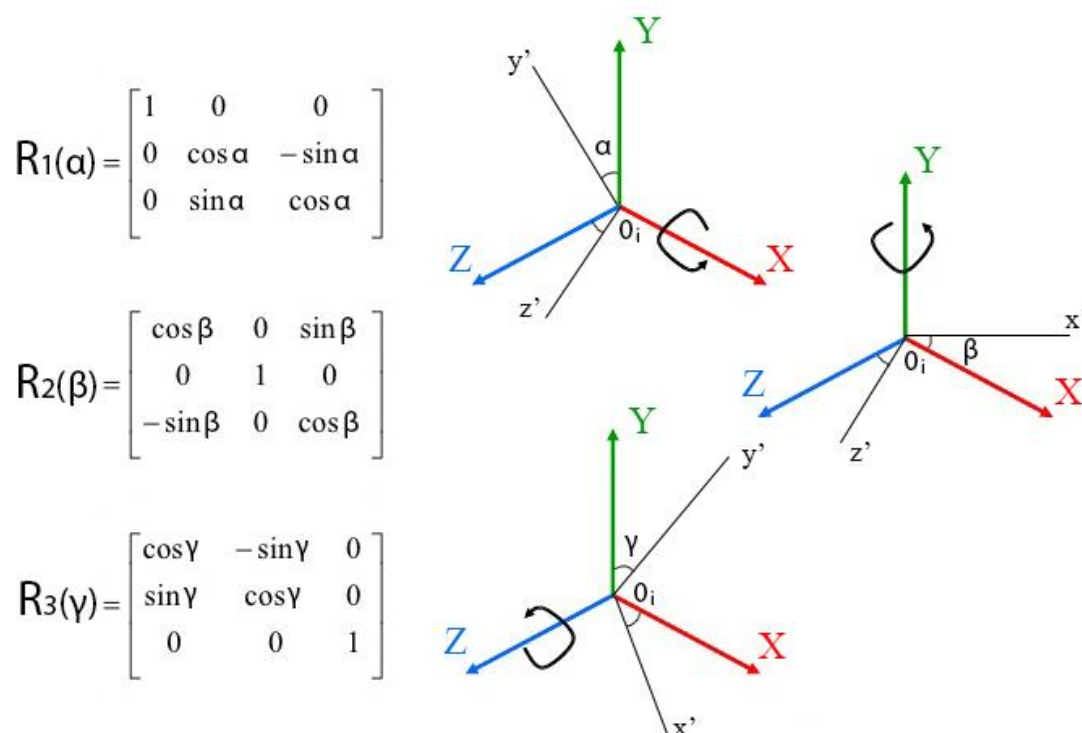
на отделни детайли. Това се реализира с помощта на метода *SelectByID2* към *IModelDocExtension* интерфейс. За осъществяването на независими премествания е необходимо отделните селектирани детайли да бъдат идентифицирани като отделни компоненти. За целта се въвеждат индивидуални променливи от тип *IComponent2*, които представляват всеки отделен подвижен елемент на манипулационните работи.

Следващата стъпка от разработването на симулационно приложение е свързана с дефиниране на матрици на положението T_{ij} с размерност 4×4 [1]. В термините на хомогенни координати се реализират всички изчисления, необходими за движението на компонентите, изграждащи манипулационните работи. Позицията на обектите се изразява чрез вектор $\rho_{ij} = [x_j, y_j, z_j]^T$, съставен от декартовите координати на конкретна точка от тялото (фиг.4):



Фиг.4. Матрично и геометрично представяне на позиционен вектор ρ .

Ротацията на обекти около оси X, Y или Z на ъгъл α , β или γ се осъществява чрез матрицата на направляващите косинуси R_{ij} с размерност 3×3 (фиг.5):



Фиг.5. Матрици на направляващите косинуси при ротация около оси X, Y и Z.

Осъществяването на матрични трансформации в SolidWorks API се извършва с помощта на два основни интерфейса:

- *IMathTransform* – осигурява възможност за извършване на манипулации с данни от трансформационни матрици.
- *IMathUtility* – осигурява достъп до математически обекти.

След дефинирането на матрици на положението се преминава към формулиране на уравнения и задвижване на моделите. В тази процедура се описват всички математически операции, с помощта на които се реализират точни премествания на подвижните компоненти на роботите. В зависимост от структурата на манипулаторите и вида на отделните движения се модифицират определени елементи на матриците. В математическите изрази фигурират логическите оси на роботите, които получават конкретни стойности едва след осъществяването на връзка между управляващия софтуер и SolidWorks API.

Последната стъпка от процедурата по задвижване на моделите се състои в изпълняване на описаните движения с помощта на интерфейса *IDragOperator*.

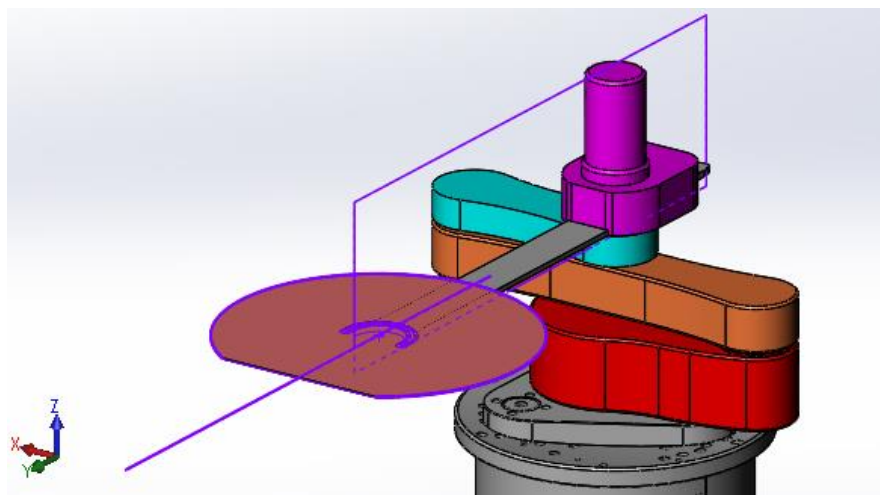
4.2. Връзка между управляващия софтуер на роботите и SolidWorks API

Връзката между управляващия софтуер и SolidWorks API се състои в прочитане на текстов файл, съдържащ текущите стойности на всички логически оси на роботите. По такъв начин се подава информация към описаните математически изрази и се реализират конкретните движения. За целта се създават процедури, изпълняващи функции като разграничаване на отделните елементи на текстовия файл, непрекъснато прочитане на данни, подаване на стойности към математическите изрази и прекратяване на прочитането. За получаването на реалистични движения е необходимо точно отчитане на структурата и форматът на данните на текстовия файл за конкретния манипулационен робот.

4.3. Симулация на пренасяне на обекти в SolidWorks

Стремежът към все по-реалистични симулации на роботизираните системи налага добавянето на още една важна функция към приложението – възможност за симулация на пренасяне на обекти. Вземането и поставянето на силициеви пластини се реализира чрез команди, базирани на специални алгоритми. При тяхното изпълняване се управляват променливи, които определят момента на вземане / поставяне в зависимост от тяхната стойност – 1 или 0. Разработването на подход за пренасяне на обекти в SolidWorks се осъществява чрез активиране / деактивиране на връзки, използвайки описания механизъм (фиг.б).

С изграждането на процедурата по пренасяне на обекти приключва работата по разработване на приложение за симулация на манипулационни роботи в полупроводниковата индустрия.



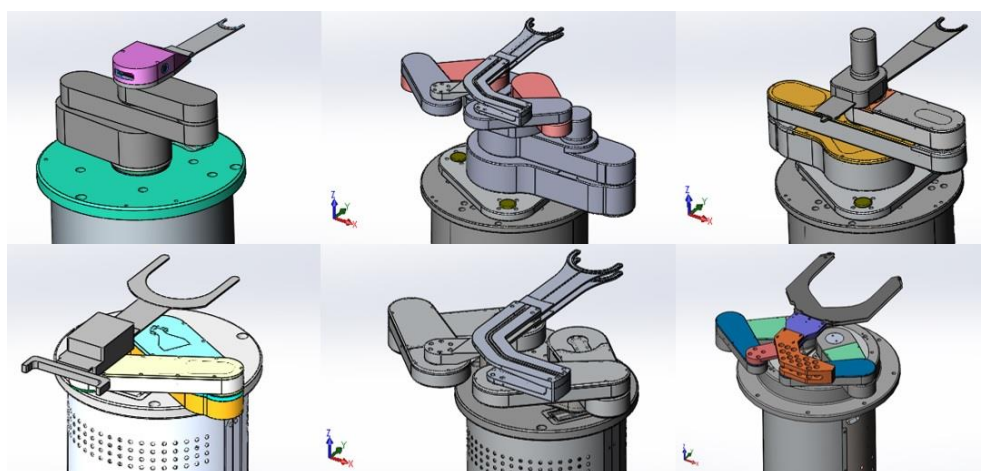
Фиг.6. Създаване на връзки между силициева пластина и изпълнително звено.

5. Анализ на резултати

Създаденото приложение се прилага към конкретни манипулационни роботи, предназначени за транспортиране на силициеви пластини с размер до 450мм [6], произведени от фирма Genmark Automation, Inc. За целта се извършват тестове и експерименти, гарантиращи безпроблемното функциониране и съвместимостта на приложението към цялата гама манипулатори. Разглеждат се три основни проблема, описани в следващите точки.

5.1. *Подготвяне на модели и адаптиране на приложението към цялата гама роботи, произвеждани от Genmark Automation, Inc.*

Изграждането на 3D модели, пригодни за симулация чрез SolidWorks API се извършва по аналогичен на описания в т.3 начин. За оценяване универсалността на разработеното приложение се създават модифицирани модели на основните роботи, произвеждани от Genmark Automation, Inc.: GB4, GB7, GB8, GB9, GREX, AVR, SMV и др (фиг.7).



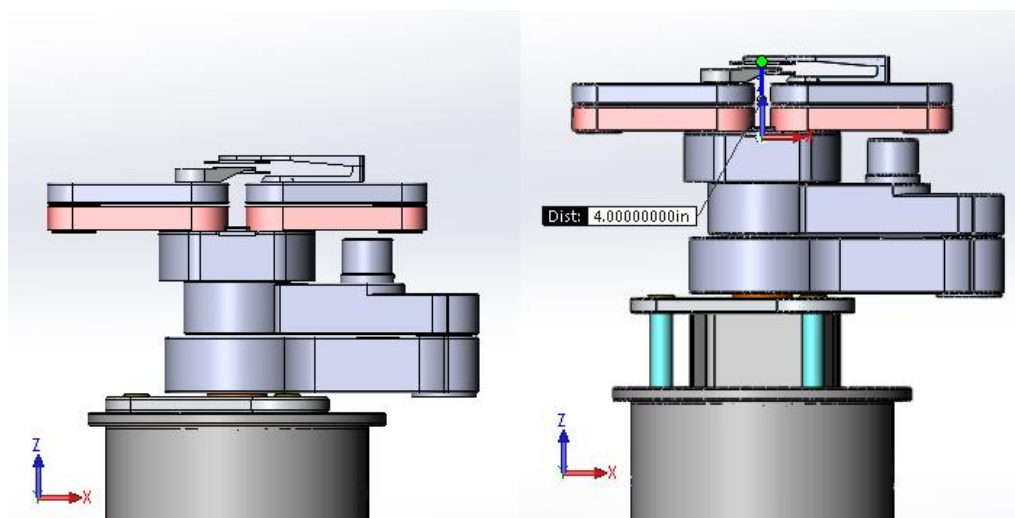
Фиг.7. Основни модели манипулационни роботи, произвеждани от Genmark Automation, Inc.

Следва еднократно подготвяне на индивидуални VBA програми, отразяващи спецификите на различните модели – кинематика, конфигурация на ръката, брой и

тип на логическите оси и т.н. В зависимост от конкретния робот се правят модификации на първоначалното симулационно приложение, отнасящи се към процедурите по селектиране на обекти, дефиниране на матрици на положението, формулиране на математически изрази, четене на данни и др. Установява се, че времето и усилията, необходими за модификация и подготвяне на съответните VBA програми са пренебрежимо малки. На база на това може да се твърди, че симулирането на уникални потребителски задачи с помощта на разработеното приложение може да се извършва бързо, точно и надеждно. Същевременно, адаптирането на симулационния софтуер към различните модели и конфигурации се извършва еднократно, като създадените макро файлове формират полезна библиотека, даваща възможност за изграждане на универсална система за симулация чрез SolidWorks API.

5.2. *Тестване на основни команди за движение и обслужване на станции*

След изграждането на модели и адаптирането на симулационното приложение към основните манипулационни работи е необходимо подробно изследване на неговата функционалност. Това се осъществява чрез изпълняване на движения по всички логически оси на роботите и последващо измерване на реализираното преместване в SolidWorks (фиг.8).



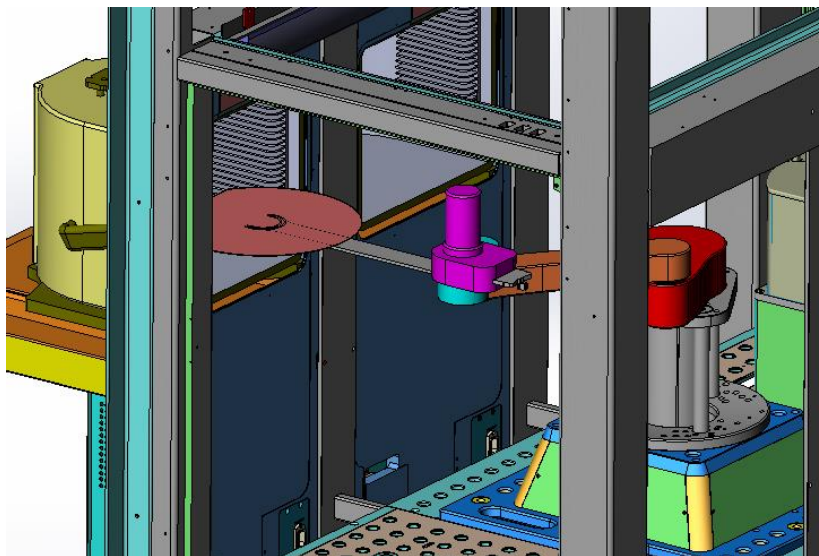
Фиг.8. Проверка на вертикалното движение на конкретен манипулационен робот.

Извършва се и проверка на възможността за изпълняване на едновременно движение по всички оси, наклоняване на ръката и обслужване на предварително дефинирани станции. Анализирайки получените резултати се установява, че точността на преместване на моделите е изключително висока, а пресъздаването на сложни движения се осъществява точно и реалистично. Това превръща симулационното приложение в надежден инструмент, даващ възможност за решаване на отговорни задачи и проблеми.

5.3. *Анализиране на потребителски сценарии и офлайн програмиране*

Последният експеримент цели да се разгледат възможностите на разработеното приложение за анализиране на потребителски сценарии, извършване на офлайн

програмиране и създаване на демонстрационни материали. Това са важни дейности, имащи съществен принос за успешното реализиране на проекти и за удовлетворяването на клиентски изисквания. За целта се използва модел на манипулационен робот GB7Y като към него се добавя модул, състоящ се от технологична машина, изравняващо устройство за силициеви пластини (*Aligner*) и две *LoadPort* устройства (фиг.9). *Анализирането на конкретния потребителски сценарий* се състои в обучаване на четири станции, необходими за обслужване на описания EFEM модул. За целта е необходимо извличане на координатите на робота за всяка позиция, използвайки геометрията на моделите.



Фиг.9. Анализиране на потребителски сценарии в SolidWorks.

Процедурата по обучаване на станции се състои в извършването на следните действия:

- Ръчно позициониране на изпълнителното звено на робота до желаната точка от EFEM модула.
- Извличане на координати.
- Обучаване на станции с помощта на управляващия софтуер.

След изпълняване на описаната процедура се извършва симулация на движенията на робота като по този начин се анализират проблеми, свързани с проверка за колизии, изследване на достижимост, съвместимост на робота с механичните ограничения на машината, оценяване на производителността на системата и др. Изброените полезни възможности, които са трудно осъществими при конвенционалния метод за анализиране на потребителски сценарии чрез 2D чертежи, превръщат симулационното приложение в ефективен инструмент за бързо и точно решаване на специфични клиентски задачи. Създаването на висококачествени демонстрационни материали е друга полезна функция, имаща съществен принос към дейности, свързани с разработването на нови продукти, представянето на инженерни решения пред клиенти и извършването на рекламни дейности.

6. Заключение

В статията е представен подход за моделиране и симулация на манипулационни работи в полупроводниковата индустрия, използвайки приложно програмния интерфейс SolidWorks API. Задачата е формулирана от нуждите на конкретна фирма, произвеждаща работи за транспортиране на силициевы пластини – Genmark Automation, Inc. За целта се разработва универсално симулационно приложение, базирано на съществуващи данни и инструменти в компанията. По такъв начин се създава цялостна система, осигуряваща възможности за извършване на всички дейности, свързани с разработването и симулирането на нови продукти, анализирането на потребителски сценарии, извършване на офлайн програмиране и създаване на демонстрационни материали. Перспектива е създаване на интуитивен графичен интерфейс, автоматично извличане на координати, интерфейс към модулите SW Motion Study и SW Simulation.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторите изказват своята благодарност към фирма *Genmark Automation, Inc.* за предоставените модели и данни, необходими за успешното изграждане на симулационното приложение.

Разработката е финансирана по договор на ТУ–София № ДУНК-01/3 с тема: „Създаване на Университетски научно-изследователски комплекс (УНИК) за иновации и трансфер на знания в областта на микро/нанотехнологии и материали, енергийна ефективност и виртуалното инженерство“.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Заманов В., Карастоянов Д. и Сотиров З., *Механика и управление на роботите*, София, 1993.
- [2] Mathia, K. *Robotics for Electronics Manufacturing Principles and Applications in Cleanroom Automation*. Cambridge University Press, 2010.
- [3] Neto, P., Pires, N., (2007). *Robot Path Simulation: a Low Cost Solution Based on CAD*. University of Coimbra, Portugal.
- [4] SolidWorks 2014 API Help – *SolidWorks API Object Model Overview*.
- [5] Hawk Ridge Systems Engineering Team, (2012). *Commonly Used Interfaces in SolidWorks API*. Извлечено на 21 март 2016, от:
<http://www.hawkridgesys.com/blog/commonly-used-interfaces-in-the-solidworks-api-part-4/>
- [6] *Genmark Automation, Inc. Atmospheric Products*. <http://www.genmarkautomation.com/products/tool-automation/atmospheric.html>

Автори: Николай Братованов, маг. инж., лаборатория „Роботика“, Технически Университет – София, e-mail: nbratovanov@gmail.com; Владимир Заманов, доц. д-р, Факултет Автоматика, Технически университет – София, e-mail: vzamanov@tu-sofia.bg

Постъпила на:

Рецензент: