

# ТИТУЛЬНИЙ ЛИСТ

Форма № Н-9.02

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**Факультет інженерії  
Кафедра «Машинобудування та прикладної механіки»**

## **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до дипломної роботи

Бакалавр

*(освітньо-кваліфікаційний рівень)*

**на тему:** Проектування та технологічний процес обробки валу  
привода верстата різання монокристаллів кремнія

Студента IV курсу групи ГМ-16да  
напряму підготовки: 133 Галузеве машинобудування

Карасьов М.П.

*(прізвище та ініціали)*

*(підпис)*

**Керівник роботи**

к.т.н. Логунов О.М.

*(вчене звання, науковий ступінь,  
прізвище та ініціали)*

*(підпис)*

**Завідувач кафедри**

проф., д.т.н. Соколов В.І.

*(вчене звання, науковий ступінь,  
прізвище та ініціали)*

*(підпис)*

У данній роботі на тему «Розрахунок та конструювання приводу подачі, яка забезпечує лінійне переміщення з швидкістю 100 мм/год. Коливання швидкості не більш 15%»:

В роботі розглянуті достоїнства і недоліки шарико-гвинтових механізмів і лінійного модуля. . Особлива увага приділена шарико – гвиновому механізму як основі лінійного переміщення.

Проведені науково-технічні заходи: порівняльна характеристика механізмів лінійного переміщення на основі розрахунків механізмів, аналіз продуктивності , розрахунок шарико-гвинтового механізму.

**ГВИНТОВІ ПЕРЕДАЧІ, ПЕРЕДНАТЯГ, ШАРИКО-ГВИНТОВІ МЕХАНІЗМИ, ПРОФІЛЬНІ РЕЙКОВІ НАПРЯМНІ, ЛІНІЙНИЙ МОДУЛЬ, МУЛЬТІКРЕМНІЙ, УСТАНОВКА БЕЗПЕРЕРВНОГО ВИРОЩУВАННЯ МУЛЬТІКРИСТАЛІЧНОГО КРЕМНІЮ.**

					<b>БР-003.00.000.ПЗ</b>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Карасьов</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Логунов</i>				4	1
<i>Реценз.</i>					<b>Реферат</b>  <b>СНУ ім.В.Даля</b>		
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>		<i>Соколов</i>					

## ВСТУП

Метою дипломного проекту є модернізація установки безперервного вирощування мультікремнія для сонячної енергетики.

Завданням дипломного проекту є збільшення продуктивності й зменшення втрат кремнію при різанні. Оптимізація конструкції для зменшення вібрацій і шуму. Актуальність роботи. Кремній Si (silicium), є перспективним матеріалом для створення сонячних батарей - напівпровідникових фотоелектричних перетворювачів (ФЭП). Останнім часом інтерес до проблеми використання сонячної енергії різко зріс. Потенційні можливості енергетики, заснованої на застосуванні безпосередньо сонячного випромінювання, надзвичайно великі. В останні три десятиліття у зв'язку з інтенсивним розвитком технологій вирощування монокристалів з розплаву різко підвищився інтерес до моделювання фізичних явищ, що лежать в основі Ростових процесів. З одного боку, цей інтерес продиктований безпосередніми потребами промислового виробництва, що швидко розвивається, монокристалів напівпровідників і діелектриків, а з іншого - усі зростаючими можливостями самого моделювання (математичного й фізичного) в об'єктивному описі фізичних явищ при вирощуванні монокристалів, завдяки застосуванню нової комп'ютерної техніки й засобів вимірів, а також розширенню баз даних по теплофізичних і фізико-хімічних властивостях найбільш важливих із практичної точки зору матеріалів. Зараз близько 93,5% вироблених у світі сонячних фотоелементів виготовляється на основі моно- і полікристалічного мультікремнія, з них 38,3% - на основі монокристалічного кремнію, 55,2% - на основі поли- або

					<i>ВМР.ММ-451м.124.000.000 ЗП</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Карасьов</i>				<i>Вступ</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Логунов</i>						7	3
<i>Реценз.</i>						<i>СНУ ім.В.Даля</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>	<i>Соколов</i>							

мультикристалличного кремнію. При цьому 90,6% фотоелектричних перетворювачів (ФЭП) виробляється у вигляді пластин з моно й мультикремнія.

Найважливішим технологічним завданням є одержання однорідних монокристалів усе більшого діаметра й довжини зі зробленою структурою й заданими електрофізичними властивостями. Тому актуальними є процеси моделювання, що дозволяють за допомогою встановлених критеріальних закономірностей, оптимізувати вибір технологічних параметрів при істотнім скороченні матеріальних витрат і забезпеченні необхідної якості кристала. Це особливо суттєво при розробці нових технологій і встаткування, тому що принцип подоби в моделюванні, дозволяє впроваджувати науково-обґрунтовані конструкції нових Ростових установок і способи керування на їхній основі процесами росту кристала. Завдання моделювання в технологіях вирощування монокристалів з розплаву є нестационарної, нелінійної, сполученої й залежною від багатьох зовнішніх (контрольованих і неконтрольованих) факторів. Тому виникає необхідність розгляду комплексу моделей, які взаємно доповнюють один одного в урахуванні перерахованих факторів і в результаті з достатнім ступенем повноти відповідають технологічним потребам. Установка по різанню мульти кристалічного кремнію. Являє собою конструкцію з не рухливої й рухливої платформи. На не рухливій платформі закріплено 4 гідроциліндра із захопленнями. Рухлива й не рухлива платформа з'єднані між собою трьома кульки гвинтовими парами, які приводяться в рух за допомогою ланцюгової передачі. На рухливій платформі так само встановлено 4 гідроциліндра для підтримки злитка кремнію. На цій же платформі встановлена циркулярна пилка.

Однак використання цієї пилки не прийнятно для цих цілей. По-перше процес росту мультикремнія доводиться припиняти.

					БР-003.00.000.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

По-друге через сильні вібрації діючих на конструкцію, розплав кремнія випліскується з тигля розташованого над конструкцією. Для розв'язку завдання по різанню кристалів у ході їх росту ми пропонуємо використовувати привід різання пилкою з обертовим у магнітнім полі ротором. По-перше дана конструкція пилки дозволяє різати кристал по ходу його росту не зупиняючи процес. По-друге зусилля різання в даній конструкції значно менше, що дозволяє уникнути зайвих вібрацій. По-третє товщина пропилю набагато менше ніж у попередньому варіанті що дозволяє уникнути більших втрат кремнію.

					<i>БР-003.00.000.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

# 1.СУЧАСНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА МУЛЬТИКРЕМНІЯ

## 1.1 Установа безперервного вирощування мультікремнія для сонячної енергетики.

Установа призначена для розплавлення й лиття кремнію у водоохолоджуючим тиглі з індукційним нагріванням. Щоб уникнути суміші розплавів, при безперервним литті використовується пластина поділу. Існуюче винахід застосовний до виробництва кремнієвого злитка, використовуваного для сонячної батареї. Продуктивність у цьому випадки в значній мірі покращиться. Продуктивність дозволяє скоротити витрати у виробництві сонячної енергетики. Тому, існуюче винахід може широко використовуватися як метод лиття злитка мультікристалічного кремнію для сонячної енергетики.

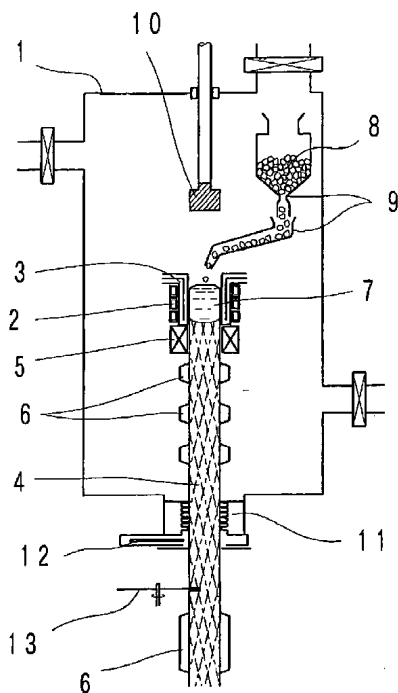


Рис.1.1. Установа безперервного вирощування мультікремнія для сонячної енергетики

					<b>ВМР.ММ-451м.124.000.000 ЗП</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Сучасна технологія виробництва мультікремнія</b>	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.	Карасьов						10	1
Перевір.	Логунов					СНУ ім.В.Даля		
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.	Соколов							

## Опис конструкції

На рис. 1.1. схематично показана конфігурація водоохолоджуючого тигля з індукційним нагріванням, в апарату для розплавлення й лиття. Цей апарат використовується для лиття мультикристаллического кремній згідно з існуючим винаходом. В установці рис. 1, мідна смуга **3** забезпечується індукцією, що нагріває котушку **2**, тигель сформований смугами. Кожна мідна смуга ізольована друг від друга в периферичному напрямку. Смуги формуються, для подовження у вертикальному напрямку, і внутрішня частина мідної смуги прохолоджується водою. Кремній розплавляється не контактуючи з мідними смугами. Коли розплавлений кремній **7** поступово йде вниз його прохолоджують. Тому, односпрямоване тужавіння прогресує нагору від більш низької частини. Мультикремнієвий злиток **4** виробляється безупинно, тому що кремнієва сировина **8** одночасно поставляється через пристрій постачання **9**, що знаходиться у верхній частині тигля.

Оскільки кремній хімічно активний у розплавленому стані, для того щоб запобігти окисненню й сприйнятливості до домішки, операції розплавлювання й лиття виконано в повітронепроникній запечатаній камері **1**, і внутрішня частина повітронепроникної запечатаної камери обслуговується в атмосфері аргону при атмосферному тиску або зменшеному тиску.

У процедурі виконання електромагнітного лиття в повітронепроникній запечатаній камері **1**, кремнієва сировина періодично поставляється із зовнішньої сторони повітронепроникної запечатаної камери на обладнання поставки **9** у повітронепроникній запечатаній камері, кремнієва сировина розплавляється, відливається, прохолоджується, і злиток безупинно йде вниз.

					<i>БР-003.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Однак, операція лиття закінчується коли довжина злитка досягає довжини повітронепроникної запечатаної камери с просуванням спадного видалення злитка. Після того, як операція лиття закінчена, пекти прохолоджується, злиток виймається, і виконується операція підготовки для наступного лиття.

Переривання операції лиття стає більшою перешкодою при вдосконаленні продуктивності в кремнієвім електромагнітнім литті. Електромагнітний метод лиття, який може безупинно виконувати лиття, запропонований як засіб щоб розв'язати вищезгадану проблему. В електромагнітному методі лиття, приміром , у порту розвантаження, запечатування між злитком і повітронепроникною запечатаною камерою **1** виконаний безконтактним способом лабіринтове ущільнювальне **11**. Злиток, узятий з повітронепроникної запечатаної камери механічно скорочений до заданої довжини алмазним різакром **13**, який переміщений у синхронізацію зі швидкістю, що йде.

Звичайно коли концентрація домішки маленька , передбачається що  $C_s$  - це розчинність у фазі солідус, а  $C_L$  - це розчинність у фазі ліквідус. Відношення розчинності у фазі солідус до розчинності у фазі ліквідус називається коефіцієнт сегрегації (ДО). Звичайно коефіцієнт сегрегації менше одиниці.

$$K=C_s/C_L$$

					<i>БР-003.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13



## 1.2 Верстат різання злитків кремнію

Установка по різанню мультикристалічного кремнію. Являє собою конструкцію з не рухливої й рухливої платформи. На не рухливій платформі закріплено 4 гідроциліндра із захопленнями. Рухлива й не рухлива платформа з'єднані між собою трьома шарико гвинтовими парами, які приводяться в рух за допомогою ланцюгової передачі. На рухливій платформі так само встановлено 4 гідроциліндра для підтримки злитка кремнію. На цій же платформі встановлена циркулярна пилка.

Однак використання цієї пилки не прийнятно для цих цілей. По-перше процес росту мультикремнію доводиться зупиняти. По-друге через сильні вібрації діючих на конструкцію розплав кремнію випліскується з тигля розташованого над конструкцією, через що зменшується продуктивність установки.

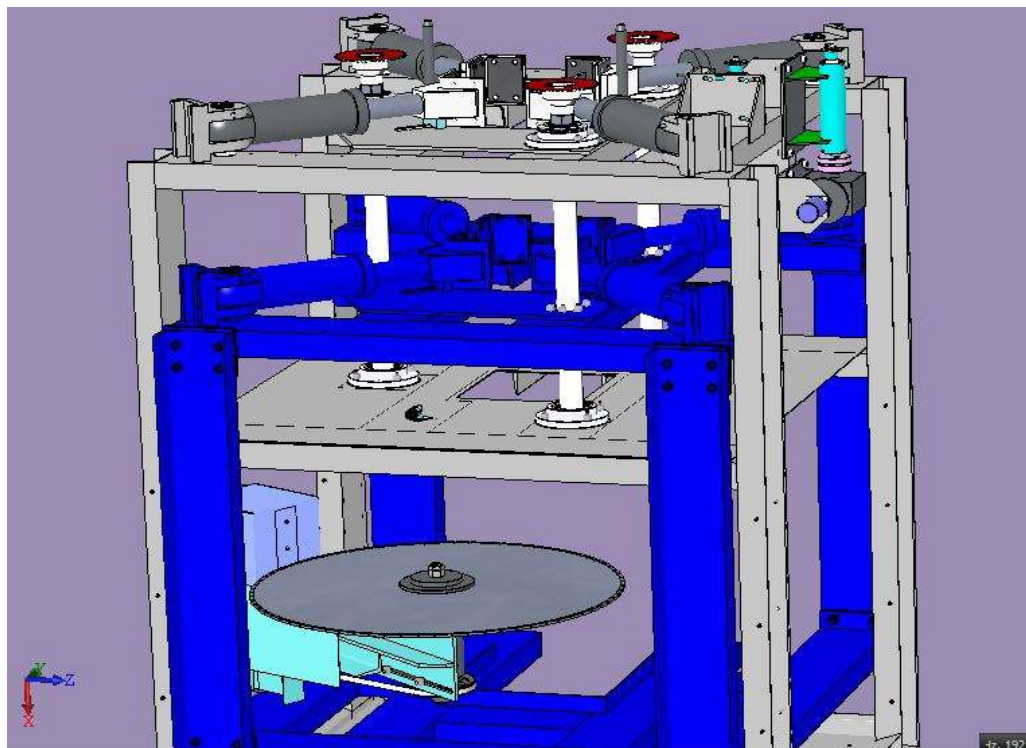


Рис.1.2. Загальний вид установки різання кремнію.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР-003.00.000.ПЗ

Арк.

14

## 2. МОДЕРНІЗАЦІЯ ВЕРСТАТУ РІЗАННЯ ЗЛИТКІВ МУЛЬТИКРЕМНІЮ

Для збільшення продуктивності й зменшення втрат кремнію при різанні було запропоновано використовувати пилку з обертним у магнітнім полі ротором, тому що це дозволяє знизити втрати кремнію при різанні й зменшення зайвих вібрацій. Для переміщення магнітопроводу було запропоновано два варіанти конструкції приводу пилки.

Варіант I. Перша конструкція має вигляд: рама із закріпленням на ній магнітопроводом по рейкових напрямних з каретками й змащувальними картриджами приводиться в рух шарикогвинтовою парою. У свою чергу ШГП обертається від крокового двигуна. На каретках встановлена зварена рама до якої кріпиться магнітопровід (рис.2.1.).

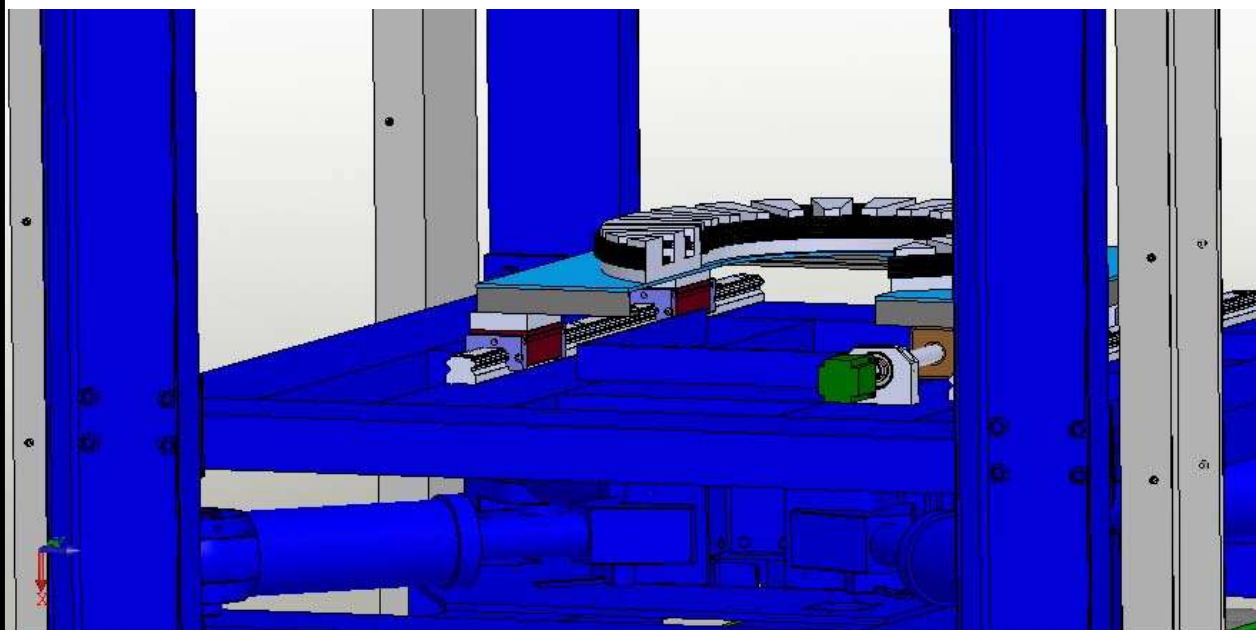


Рис.2.1. Загальний вид приводу різання кремнію на основі ШГМ.

					<b>БР-003.00.000.ПЗ</b>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МОДЕРНІЗАЦІЯ ВЕРСТАТУ РІЗАННЯ ЗЛИТКІВ МУЛЬТИКРЕМНІЮ		
Розроб.		Карасьов					
Перевір.		Логунов					
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.		Соколов					
					Літ.	Арк.	Акрушів
						15	3
					<b>СНУ ім.В.Даля</b>		

До складу приводу входять: рейкові напрямні з каретками й змащувальними картриджами, шарико гвинтова пара складається з високоточного гвинта, гайки й інтегрованих кульок. Кроковий двигун. Зварна рама. Варіант II. Друга конструкція має вигляд: міцної алюмінієвої основи з встановленим на ньому рейковими напрямними по яких переміщається лінійний блок, що приводиться в рух шарико-гвинтовою передачею, яка закріплена по обидва боки в підшипникових опорах. З однієї сторони лінійний модуль оснащений перехідним фланцем різних виконань для кріплення крокового двигуна за допомогою муфти, що компенсує.(рис. 2.2.)

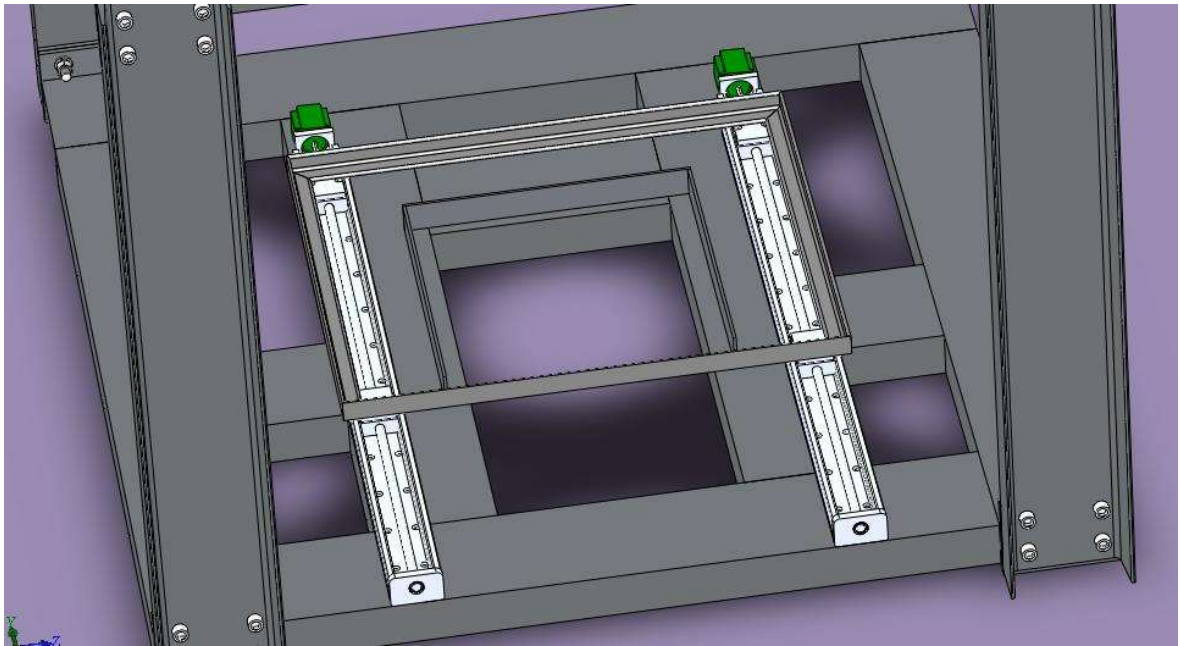


Рис.2.2. Загальний вид приводу різання кремнію на основі лінійного моду

					БР-003.00.000.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гайкою і гвинтом.  
 Між гвинтом і гайкою можливий осьовий люфт, що несприятливо позначається на відтворюваності. (зазвичай, максимальний люфт лежить в діапазоні 0.09-0.18 мм і залежить від розмірів). Використовується для транспортних пристроїв і вертикального переміщення, де допустимий низький опір (рис. 3.16.). (Застосовується з типами гайок FK, FH і ZG).

					<i>БР-003.00.000.ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Карасьов</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Логунов</i>					17	40
<i>Реценз.</i>					<i>СНУ ім.В.Даля</i>		
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>	<i>Соколов</i>						
					<i>Розрахунок приводу різання на основі ШГМ</i>		