

*В. В. СВИРИДОВ*, д-р техн. наук, *Е. В. БОДЯНСКИЙ*, *И. М. БЕЛАЯ*,  
*И. Ф. КУСТОВ*, канд. техн. наук

### О НЕКОТОРЫХ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Разработка и внедрение АСУ ТП не подразумевают полное исключение человека из процесса управления. По-видимому, человек-оператор еще долгое время будет играть большую роль в процессах управления технологическими объектами.

В настоящее время технологические процессы по ряду причин не могут быть полностью автоматизированы. Присутствие человека-оператора в системе управления обосновывается требованиями высокого качества, экономичности, гибкости управления и других параметров.

В подобных процессах управление осуществляется либо полностью вручную, либо сочетается с автоматическим управлением. В таком случае управляемый объект совместно с оператором образует замкнутую эргатическую систему. Можно утверждать, что рациональная организация функционирования этой системы является важным фактором повышения эффективности производства.

В настоящей работе обсуждаются некоторые психофизиологические аспекты поведения оператора полупроводникового производства на примере таких технологических процессов, как выращивание и обработка монокристаллов и наращивание эпитаксиальных слоев при создании электронно-дырочных переходов.

В настоящее время большинство технологических процессов требуют совершенствования. В то же время эффективное управление технологическим процессом требует знания его свойств. В производственных условиях практически не существует функционирующих АСУ ТП выращивания и обработки монокристаллов, наращивания эпитаксиальных слоев. Управление процессом осуществляется вручную высококвалифицированным оператором. Таким образом, при исследовании определенного технологического процесса необходимо учитывать особенности поведения оператора при управлении установкой. Так, при выращивании монокристаллов по методу Чохральского выход на требуемый диаметр монокристалла, а также корректировка ведения процесса роста осуществляется не всеми операторами одинаково. Качество эпитаксиальных слоев также во многом определяется особенностями каждого конкретного исполнителя.

Известно [1], что при организации эргатических систем руководствуются двумя основными принципами: наименьшего взаимодействия и функциональной совместимости. Принцип наименьшего взаимодействия, эквивалентный принципу функционально-

го гомеостаза, предусматривает исключение недетерминированных условий работы, затрудняющих деятельность оператора. Согласно этому принципу, оптимальными считаются такие условия, при которых режим работы установки от процесса к процессу остается неизменным. На практике это условие, как правило, не выполняется, так как с течением времени изменяются свойства установки, исходных материалов и т. д. Поэтому оператору приходится непрерывно корректировать рабочие режимы с целью получить продукцию заданного качества.

Второй принцип требует передачи части управляющих функций оператора управляющему устройству, рациональной организации рабочего места, учета рабочих характеристик человека. Современные установки отвечают требованиям эргономики, часть управляющих параметров может быть подвергнута автоматическому управлению, например, стабилизация мощности ВЧ генератора, температуры испарителя тетрахлорида кремния и лигатуры при эпитаксиальном наращивании, поддержание температуры расплава сырьца легированного кремния и скорости вытягивания при выращивании монокристаллов.

Учет этих требований целесообразен при организации работы оператора. Интересно рассмотреть некоторые индивидуальные особенности функционирования каждого конкретного рабочего.

При эффективном управлении необходимо присутствие в структуре эргатической системы канала обратной связи, позволяющего оператору корректировать свои действия от процесса к процессу. Организовать этот канал можно различными способами. На практике различают управление с эмпирической и обратной связью и управление с технологической обратной связью. Если в первом случае процедура управления может быть полностью формализована и поручена управляющей вычислительной машине, то при управлении с технологической обратной связью окончательное решение принимает человек-оператор. В этом случае не требуется формализации объекта и стратегии управления. Управление осуществляется высококвалифицированным персоналом в основном интуитивно с периодической корректировкой технологических режимов и привлечением новых предложений, получаемых в результате экспертного опроса ведущих специалистов. При этом не следует, конечно, пренебрегать использованием математического аппарата. Лишь разумное сочетание математики и интуиции позволит реализовать эффективное управление объектом.

В настоящее время система управления технологическими процессами не предусматривает возможности изменения технических условий. Технологические инструкции действуют в течение длительного времени и, как правило, не корректируются. Однако, поскольку в инструкции режимы заданы в виде довольно широких пределов, оператор имеет возможность постоянно «покачивать» процесс, интуитивно отыскивая область оптимальных

режимов. Подобная система ведения процесса используется многими опытными операторами и по идее близка методу эволюционного планирования [2]. Решение о дальнейшем поведении принимает оператор также интуитивно на основании личных неформализованных правил. Интуитивно-эвристическая деятельность оператора обладает рядом преимуществ перед четко формализованной программой работы УВМ. Здесь следует отметить самообучаемость, способность к самоконтролю, эвристичность, гибкость, адаптируемость к новым условиям работы и т. д.

В процессе работы в контуре эргатической системы оператор постоянно руководствуется личным опытом, интуицией, техническими условиями, сменным заданием, системой критериев, предпочтительности режимов, показаниями датчиков и приборов. При этом он воссоздает в воображении образ объекта, к которому он постоянно обращается. Этот образ мы в дальнейшем будем именовать концептуальной моделью установки. Необходимую информацию для создания и корректировки этой модели он получает с помощью двух полей: сенсорного, состоящего из приборов и сигнальных устройств, и сенсомоторного, состоящего из органов управления.

С помощью информационной модели оператор оценивает состояние установки в каждый момент времени и принимает решение о выборе режима. Создать адекватную модель установки затруднительно и возможно лишь для опытного оператора. Формализация этой интуитивной конструкции — еще более трудная задача. Важным вопросом является выбор наиболее существенных факторов, которые следует непрерывно контролировать и в основном с их помощью осуществлять управление, и критериев, которые каждый оператор выбирает для себя и руководствуется ими при работе.

Естественно, что оператор стремится минимизировать число параметров, но в той мере, чтобы иметь возможность воссоздать верный образ объекта. При работе на установке по наращиванию эпитаксиальных слоев оператор в основном руководствуется показаниями следующих приборов: датчика расхода основного водорода, датчика расхода водорода через испаритель тетрагидрида кремния, датчика расхода водорода через испаритель лигатуры, датчика ВЧ мощности.

Другим примером может служить поведение оператора на стадии обработки выращенных монокристаллов. Здесь оператор, стремясь обработать монокристалл в соответствии с техническими требованиями, использует только информацию о значении измеряемого параметра (удельное сопротивление на торце) или визуально контролируемых параметров (плотности дислокаций и дислокационных дефектов) и знания о распределении этих параметров в данном классе монокристаллов. В качестве критериев выступает обычно стремление увеличить выход годной продукции при любом технологическом процессе, увеличить скорость роста

эпитаксиального слоя, уменьшить расход реагентов, приблизить удельное сопротивление и толщину слоя к требуемым значениям при эпитаксиальном наращивании, а при обработке монокристаллов — и минимизировать трудозатраты.

Оператор обычно имеет множество альтернатив по введению процесса. Все это множество он оценивает по имеющимся критериям и выбирает наилучшее, по его мнению, решение, которое он затем реализует с ошибкой. Установить обоснованность выбранного решения можно, выяснив, с одной стороны, каковы цели оператора, с другой стороны — каковы его суждения и мнения, основанные на прошлом опыте. Этого можно достичь, выяснив у оператора, каково было бы его решение в ряде достаточно простых стандартных ситуаций. Нужно при этом помнить, что значительная трудность в деятельности оператора состоит в необходимости принимать решения в условиях неопределенности или при неполных знаниях о возможных результатах предпринимаемых действий.

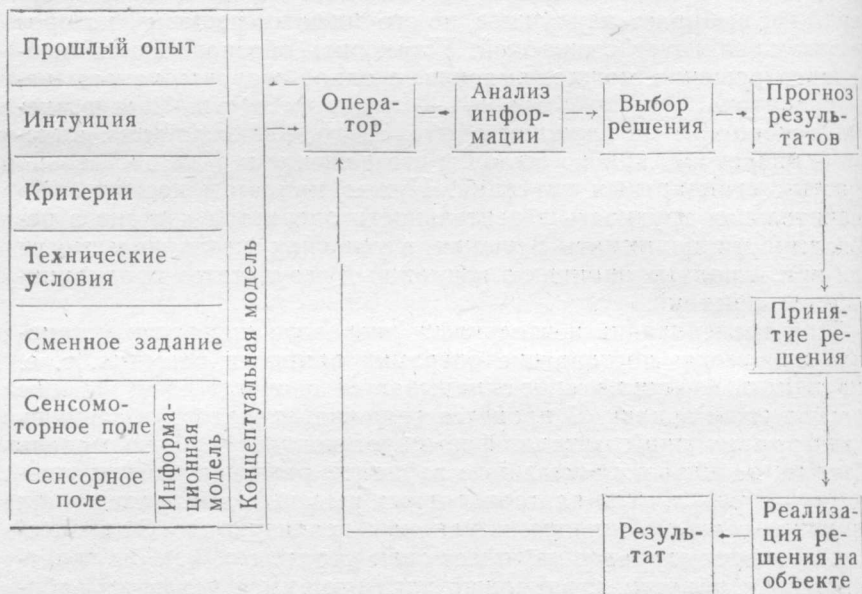
При исследовании деятельности оператора интересно установить логическое построение операции принятия решения, т. е. определить, из каких этапов складывается окончательное решение поставленной задачи. В процессе решения оператор, обращаясь к информационной модели, формирует концептуальную модель объекта, оценивает приемлемые варианты режимов работы, прогнозирует результаты альтернативных решений, выбирает из них наилучшее, по его мнению, и, наконец, реализует его. От процесса к процессу оператор улучшает свою стратегию, как бы подстраиваясь к объекту, к возможно изменяющимся условиям работы, т. е. осуществляет адаптивное управление. Это управление может быть представлено в виде процесса поиска, поскольку оно связано с последовательными решениями о том, надлежит ли остановиться и принять наиболее удовлетворительное из того, что было найдено ранее или надо продолжать поиск с целью получить лучшие результаты.

Таким образом, функционирование эргатической системы можно представить в виде схемы (рисунок). Обращаясь к информационной модели, оператор принимает решение по ведению процесса, прогнозируя возможные последствия этого решения. Если оно представляется ему удовлетворительным, он реализует его. Если результаты процесса положительные, оператор повторяет этот процесс аналогично предыдущему, если же они не удовлетворяют его, то оператор вновь обращается к информационной модели, отыскивая приемлемое решение.

Решение, принимаемое на каком-то этапе, влияет на последующие решения и само зависит от того, что было сделано ранее. Поэтому, принимая решение на данном этапе, необходимо предвидеть, что может произойти на последующих этапах. Как правило, после того, как миновала какая-то стадия процесса, появляются дополнительная информация и опыт, которые использу-

ются для принятия решения. Обращаясь к прошлому опыту, необходимо постоянно помнить цель адаптивного обучения — пересмотр сложившейся модели в свете новой информации.

Следует также отметить, что познавательной деятельности оператора присущи ошибки, которые обнаруживаются в процес-



се усвоения новой информации и включения ее в модель. Возникает вопрос: какой вес следует придавать прошлому опыту и какой — новым данным? Эта задача по смыслу близка методу экспоненциального сглаживания Брауна. Рассматривая ее, нужно учитывать, что переработка информации человеком-оператором является творческим актом и в значительной мере зависит от психологических особенностей каждого индивидуума. Тем не менее, необходимо предположить, что информация о том, как человек принимает решение в стандартных ситуациях, носит объективный характер в том смысле, что разные операторы в данных ситуациях будут принимать аналогичные решения.

Мы уже отмечали большое значение интуиции в процессе формирования концептуальной модели. Интуитивно мыслящий человек, как правило, не в состоянии полностью сообщить, какие аспекты ситуации были им отобраны, какую часть информации в его памяти он использовал, какие соображения привели его к данной форме модели.

Попытки специалиста по управлению ввести количественные характеристики в интуитивно принимаемые решения могут встретить отрицательное отношение. Поэтому следует уделить особое

внимание вопросам разумного согласования усилий технологов, операторов и специалистов по управлению с целью получить приемлемую со всех точек зрения концептуальную модель объекта. Результаты такой работы принесут определенную пользу для обучения молодых операторов.

Немаловажное значение имеет доступность и обозримость модели. Уточняя и обогащая модель наряду с одновременным ее упрощением, мы добиваемся ясности понимания ее сущности, целей, требований. Обычно начинают с самых простых моделей, сильно отличающихся от действительности, а затем движутся эволюционным путем к более совершенным моделям, точнее отражающим свойства объекта. Упрощение же может быть достигнуто путем ограничения числа факторов, которые наиболее легко измеряются или являются наиболее «значимыми».

Учет всех этих требований приводит к тому, что оператор с большей четкостью представляет себе все особенности процесса, логически увязывает свои знания о нем, что позволяет ему выбирать более разумные стратегии управления. Процесс управления в целом при этом может рассматриваться как ряд последовательных этапов: обращение к информационной модели, принятие решения, обучение на основе получаемых результатов способам более эффективной деятельности, что в итоге ведет к улучшению режимов технологического процесса.

В заключение следует отметить, что применение методов теории эргатических систем при изучении технологических процессов позволит улучшить качество управления этими процессами, обобщить опыт лучших операторов, выработать рекомендации и наметить пути дальнейшей интенсификации производства. Исследование процессов подобными методами является одним из этапов в создании АСУ ТП, эффективность которой во многом зависит от личных качеств человека-оператора, работающего с системой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов В. В. К началам теории эргатического организма. — В кн.: Эргатические системы управления. Вып. 1. Киев, «Наукова думка», 1974, с. 3—17.
2. Горский В. Г., Адлер Ю. П. Планирование промышленных экспериментов. М., «Металлургия», 1974. 264 с.

*Поступила 10 апреля 1976 г.*