

Рис. 3. Кристалличность (а), темновая проводимость (б) и энергия активации (в) кремниевых пленок с примесью бора (слева) и фосфора (справа) в зависимости от толщины. В (б) и (в) сплошные символы относятся к значениям σ_d и E_a , измеренным в планарной геометрии, а пустые значки к σ_d and E_a в перпендикулярном направлении

2.2. Серия вариации D_H

Как видно из рис. 2(а), пленки с примесью бора (слева) демонстрируют резкий рост X_C при увеличении D_H с 85 до 90%, в то время как для пленок n -типа переход от аморфного состояния к нанокристаллическому более плавный. Значения σ_d (рис. 2(б)) коррелируют с X_C , увеличиваясь с $\sigma_d \sim 10^{-8}$ (Ом \times см) $^{-1}$ для аморфных пленок до $\sigma_d = 2.8$ (Ом \times см) $^{-1}$ в nc -Si:H p -типа и с $\sigma_d \sim 10^{-4}$ (Ом \times см) $^{-1}$ до $\sigma_d = 4.8$ (Ом \times см) $^{-1}$ в nc -Si:H n -типа. σ_d пленок выращенных на стеклянной подложке и ПИ, как правило, меньше аналогичных пленок, выращенных на ПЭН.

2.3. Серия различной толщины

Кремниевые пленки n - и p -типа малой толщины (до 40 нм) выращенные при условиях роста нанокристаллического кремния демонстрируют электрические и структурные свойства легированного аморфного кремния. В частности, наблюдается типичный для a -Si:H рамановский спектр (не приведенный здесь), низкое значение σ_d и высокая E_a , по сравнению с легированным nc -Si:H. С увеличением толщины

наблюдается постепенное увеличение степени кристалличности X_C с 0 до 70-75% (см. рис. 3(а)). В то же время σ_d постепенно увеличивается на 7 порядков, как видно из рисунка 3(б). Тем не менее, если σ_d измеряется в направлении, перпендикулярном слою ($\sigma_{d\perp}$ - пустые значки на рис. 3 (б)), то для образцов с наибольшим значением проводимости в планарной геометрии $\sigma_{d\perp}$ остается на уровне легированного a -Si:H. Это может означать, что транспорт носителей заряда в перпендикулярном направлении контролируется аморфным инкубационным слоем и/или сформировавшейся на поверхности пленки окисью кремния. Уменьшение $\sigma_{d\perp}$ с толщиной происходит, вероятно, из-за увеличения вклада в сопротивление образца слоя с окислом кремния, т.к. при уменьшении толщины образца толщина поверхностного окисла остается постоянной. Тем не менее, E_a измеренная в планарной и перпендикулярной геометрии остается практически без изменений (рис. 3(в)).

Заключение

Пленки нанокристаллического гидрогенизированного кремния, легированные молекулами бора и фосфора, выращенные методом ОиГФ-ГП при температуре подложки 150°C на ПЭН и ПИ, демонстрируют высокую электрическую проводимость, необходимую для применения в различных устройствах (солнечные элементы, тонкопленочные транзисторы). В данных экспериментах максимальное значение σ_d для кремниевых пленок, осажденных на ПЭН n -типа, достигло 4.7 (Ом \times см) $^{-1}$, а для пленок p -типа 2.8 (Ом \times см) $^{-1}$. Увеличение B_2H_6 или PH_3 в газовой фазе ведет к уменьшению степени кристалличности в пленках. Толщина инкубационного аморфного слоя для nc -Si:H пленок n - и p -типа составляет не более 50 нм.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. P. Pernet, R. Felder, M. Goetz, H. Keppner, D. Fischer, A. Shah, *Proc. of 14th ECPV Solar Energy Conf.* 1997, 2339
2. S. Klein, F. Finger, R. Carius, B. Rech, L. Houben, M. Luysberg, M. Stutzmann, *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* 715 (2002) A26.2.
3. B. Schröder, *Thin Solid Films*, 430 (2003) 1.
4. C. Mukherjee, U. Weber, H. Seitz, B. Schröder, *Thin Solid Films* 395 (2001) 310.
5. D. Grunsky, M. Kupich, B. Schröder, *Thin Solid Films* 501 (2006) 280.
6. M. Ledinský, L. Fekete, J. Stuchlík, T. Mates, A. Fejfar and J. Kočka, *J. of Non-Cryst. Solids*, 352 (2006) 1209.
7. C. Voz, D. Peiró, J. Bertomeu, D. Soler, M. Fonrodona, J. Andreu, *Mater. Sci.Eng.* B69-70 (2000) 278.

Статья поступила в редакцию 13.03.2007

УДК 531

Чопчиц И.Н., Чопчиц Н.И.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНО-ВОЛНОВЫХ ДВИЖЕНИЙ С ПЕРЕНОСОМ МАССЫ

Введение

Помимо традиционных волновых движений, сопровождающихся переносом энергии-импульса, но не сопровождающихся дальним переносом массы (в нерелятивистском смысле), значительный интерес представляют волновые движения, в которых частицы, участвующие в этих движениях, коллективно перемещаются на сколь угодно большие рас-

стояния. Типичным примером поперечно-волнового движения такого типа является движение гибкой нити на шероховатой поверхности под действием внутренних изгибающих моментов с периодической зависимостью от времени и лонгальной лагранжевой координаты вдоль нити. Ввиду сложности уравнений описывающих движение системы даже для простейших законов изменения изгибающих моментов, доступ-

Чопчиц Игнатий Николаевич, студент факультета электронно-информационных систем БрГТУ.

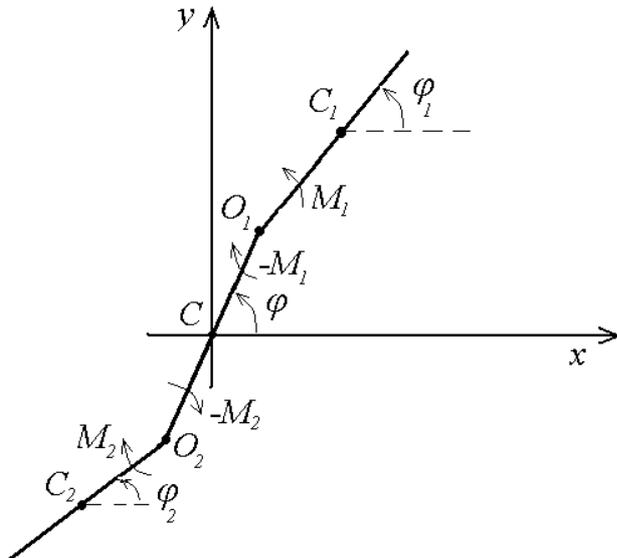
Чопчиц Николай Игнатьевич, доцент кафедры физики БрГТУ.

Беларусь, Брестский государственный технический университет, 224017, г. Брест, ул. Московская 267.

ными для анализа являются лишь качественные особенности движения. С целью получения количественных характеристик движения в данной работе рассматривается кусочно-линейная аппроксимация гибкой нити с законом изменения внутренних моментов на основе функции Хевисайда.

1. Постановка задачи

Рассмотрим трёхзвенную конструкцию, состоящую из трех стержней длиной 2ℓ и массой m каждый, находящуюся на горизонтально шероховатой опоре, коэффициент трения о которую равен μ . В шарнирах O_1 и O_2 действуют внутренние вращающие моменты M_1 и M_2 , закон изменения которых зададим позже. Система имеет пять степеней свободы, в качестве которых выберем координаты центра масс (x_c, y_c) и три угла $(\varphi, \varphi_1, \varphi_2)$ между осью X и стержнями системы (рис.1).



Рассмотрим вначале центральный стержень. На элемент длиной $d\xi$ с координатой ξ , имеющий массу $dm = \frac{m}{2\ell} d\xi$, действует сила трения, равная в модели Кулона-Амонтона $dF_{mp} = \mu g \frac{m}{2\ell} d\xi$, проекции которой на координатах оси равны $(V_{cx} = \dot{x}_c, V_{cy} = \dot{y}_c)$.

$$dF_{mpx} = -\frac{\mu g m (V_{cx} - \xi \dot{\varphi} \sin \varphi) d\xi}{2\ell \sqrt{(V_{cx} - \xi \dot{\varphi} \sin \varphi)^2 + (V_{cy} + \xi \dot{\varphi} \cos \varphi)^2}};$$

$$dF_{mpy} = -\frac{\mu g m (V_{cy} + \xi \dot{\varphi} \cos \varphi) d\xi}{2\ell \sqrt{(V_{cx} - \xi \dot{\varphi} \sin \varphi)^2 + (V_{cy} + \xi \dot{\varphi} \cos \varphi)^2}}.$$

Мгновенные значения проекций сил трения даются интегралами:

$$F_{mpx} = -\frac{\mu m g}{2\ell} \int_{-\ell}^{\ell} \frac{(\dot{x}_c - \xi \dot{\varphi} \sin \varphi) d\xi}{\sqrt{(\dot{x}_c - \xi \dot{\varphi} \sin \varphi)^2 + (\dot{y}_c + \xi \dot{\varphi} \cos \varphi)^2}}; \quad (1)$$

$$F_{mpy} = -\frac{\mu m g}{2\ell} \int_{-\ell}^{\ell} \frac{(\dot{y}_c + \xi \dot{\varphi} \cos \varphi) d\xi}{\sqrt{(\dot{x}_c - \xi \dot{\varphi} \sin \varphi)^2 + (\dot{y}_c + \xi \dot{\varphi} \cos \varphi)^2}},$$

при вычислении которых все остальные величины считаются постоянными. Интегралы (1) легко вычисляются в элементарных функциях, однако имея в виду применение CAS Mathematica, их вычисление можно организовать программным образом. Момент сил трения, действующих на элементы

стержня, относительно оси z , перпендикулярной плоскости рисунка и образующей с осями (x, y) правую систему координат, равен:

$$M_{mpz} = -\frac{\mu m g}{\ell} \int_0^{\ell} \frac{[(\dot{x}_c - \xi \dot{\varphi} \sin \varphi) \cos \varphi - (\dot{y}_c + \xi \dot{\varphi} \cos \varphi) \sin \varphi] d\xi}{\sqrt{(\dot{x}_c - \xi \dot{\varphi} \sin \varphi)^2 + (\dot{y}_c + \xi \dot{\varphi} \cos \varphi)^2}} \quad (2)$$

Уравнение движения центрального стержня имеет вид

$$m\ddot{x}_c = F_{mpx} + F_{1x} + F_{2x};$$

$$m\ddot{y}_c = F_{mpy} + F_{1y} + F_{2y}; \quad (3)$$

$$I_{cz} \ddot{\varphi} = M_{mpz} - M_1 - M_2 + (F_{1y} - F_{2y})\ell \cos \varphi + (F_{2x} - F_{1x})\ell \sin \varphi.$$

где $I_{cz} = \frac{m\ell^2}{3}$ – момент инерции стержня относительно оси

z , проходящей через центр масс, \bar{F}_1, \bar{F}_2 – силы, возникающие в шарнирах O_1, O_2 соответственно.

Для стержня 1 имеем очевидные соотношения:

$$x_{c1} = x_c + \ell(\cos \varphi + \cos \varphi_1);$$

$$y_{c1} = y_c + \ell(\sin \varphi + \sin \varphi_1);$$

$$V_{c1x} = \dot{x}_c + \ell(-\dot{\varphi} \sin \varphi - \dot{\varphi}_1 \sin \varphi_1);$$

$$V_{c1y} = \dot{y}_c + \ell(\dot{\varphi} \cos \varphi + \dot{\varphi}_1 \sin \varphi_1); \quad (4)$$

$$\ddot{x}_{c1} = \ddot{x}_c - \ell(\ddot{\varphi} \sin \varphi + \dot{\varphi}^2 \cos \varphi + \ddot{\varphi}_1 \sin \varphi_1 + \dot{\varphi}_1^2 \cos \varphi_1);$$

$$\ddot{y}_{c1} = \ddot{y}_c - \ell(\ddot{\varphi} \cos \varphi - \dot{\varphi}^2 \sin \varphi - \ddot{\varphi}_1 \cos \varphi_1 - \dot{\varphi}_1^2 \sin \varphi_1).$$

Выражение для проекций силы трения F_{mp1x}, F_{mp2x} и момента сил трения M_{mp1z} получаются из формул (1) и (2) путем замены $V_{cx} \rightarrow V_{c1x}, V_{cy} \rightarrow V_{c1y}, \varphi \rightarrow \varphi_1$

Уравнения движения для верхнего стержня примут вид:

$$m\ddot{x}_{c1} = F_{mp1x} - F_{1x};$$

$$m\ddot{y}_{c1} = F_{mp1y} - F_{1y}; \quad (5)$$

$$\frac{m\ell^2}{3} \ddot{\varphi}_1 = M_{mp1z} + M_1 - \ell(F_{1x} \sin \varphi_1 - F_{1y} \cos \varphi_1),$$

где $\ddot{x}_{c1}, \ddot{y}_{c1}$ даются выражениями (4).

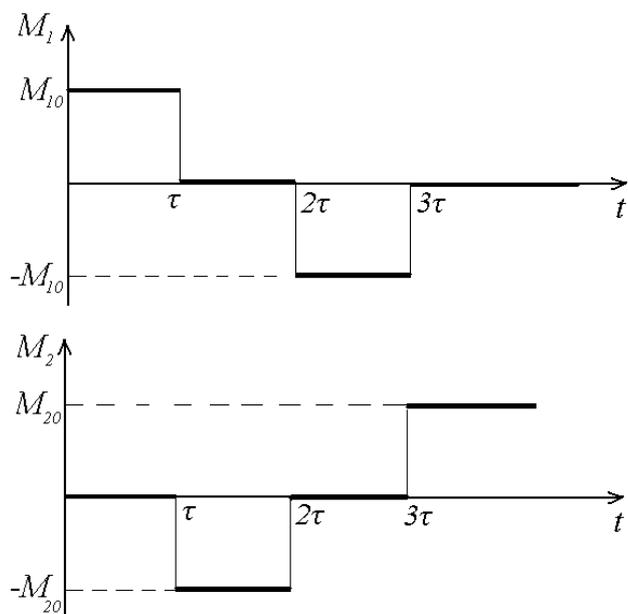
Аналогично выражения для координат, скоростей и ускорений центра масс второго стержня могут быть получены из (4) заменой $\ell \rightarrow (-\ell), \varphi_1 \rightarrow \varphi_2$. Уравнения движения второго стержня имеют вид:

$$m\ddot{x}_{c2} = F_{\partial\partial 2x} - F_{2x};$$

$$m\ddot{y}_{c2} = F_{mp2y} - F_{2y}; \quad (6)$$

$$\frac{m\ell^2}{3} \ddot{\varphi}_2 = M_{mp2z} + M_2 + \ell(F_{2x} \sin \varphi - F_{2y} \cos \varphi).$$

Полная система ДУ, описывающая движение системы, содержит 9 уравнений (3), (5), (6) и девять неизвестных функций времени: помимо пяти обобщенных координат имеем четыре неизвестные величины $F_{1x}, F_{1y}, F_{2x}, F_{2y}$. Поперечно-волновой характер движения обеспечивается, например, тогда, когда законы изменения внутренних моментов в шарнирах имеют простейший вид, схематически показанный на рисунке 2.



Система ДУ решается при соответствующих начальных условиях и для обеспечения незамерзновенности угловых координат необходимо, чтобы значения M_{10} и M_{20} были достаточно велики. Очевидно, достаточное условие для этого имеет вид: $Min\{M_{10}, M_{20}\} > \frac{3}{2} mg \cdot 3l = \frac{9mg\ell}{2}$. В вышеприведенных выражениях предполагалось, что все силы являются силами трения скольжения, т.е. что скорости всех элементов отличны от нуля. В действительности для некоторых элементов в некоторые моменты времени это условие может и не выполняться, но множество таких пространственно-временных элементов имеет меру нуль, так что это обстоятельство на конечных результатах не сказывается. Переход к большему числу звеньев тривиален, и выбор количества звеньев определяется лишь возможностями компьютера.

Заключение

Результаты расчетов при различных значениях параметров системы с помощью CAS Mathematica, анализу детерминистского поведения системы и хаотическому поведению системы при некоторых условиях будут посвящены следующие работы. Аналогичным образом может быть рассмотрено поведение системы при наличии различных типов вязкого трения.

Статья поступила в редакцию 13.03.2007

УДК 621.79

Гриценко П.А., Козлович П.А.

ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ СВАРКА В СРЕДЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА НА ФОРСИРОВАННЫХ РЕЖИМАХ

Ведение. Основным условием технического процесса является постоянное повышение производительности труда и совершенствование качества изготавливаемых изделий. При газозащитной сварке достигнуть этого можно благодаря применению высокопроизводительного способа сварки с увеличенным вылетом электродной проволоки, позволяющего добиться снижения трудоемкости процесса сварки, экономии сварочных материалов, повышения качества сварочных соединений. Для этой цели необходима небольшая модернизация сварочного оборудования и изменения технологии сварки.

1. Модернизация сварочного оборудования

Механизм подачи. При сварке с увеличенным вылетом электрода с помощью полуавтомата А-537 максимальная скорость подачи электродной проволоки, на которую рассчитан подающий механизм 598 м/ч, может оказаться недостаточной для сварки на форсированных режимах. В этом случае рекомендуется произвести модернизацию подающего механизма путем увеличения диаметра падающих роликов. Модернизированный подающий механизм сварочного полуавтомата А-537 обеспечивает скорость подачи электродной проволоки до 1030 м/ч, что позволяет производить сварку на форсированных режимах.

В табл. 1 приведены скорости подачи электродной проволоки на каждой ступени до и после модернизации механизма.

Модернизация подающего механизма кроме увеличения скорости подачи электродной проволоки предусматривает ее правку и корректировку направления.

Сварочная горелка. Горелка сварочного полуавтомата – наиболее ответственный узел при сварке увеличенным вылетом электрода. Сущность модернизации сварочной горелки с целью возможности применения ее для сварки с увеличенным вылетом электрода, заключается в решении двух основных задач: обеспечение направления электродной проволоки с

увеличенным вылетом в зону сварки и повышение долговечности и надежности токоподводящего наконечника и газоподводящего сопла.

Направление электродной проволоки при сварке с увеличенным вылетом электрода осуществляется при помощи специального удлинителя. Термостойкий удлинитель также защищает токоподводящий наконечник от термического воздействия дуги. Первые конструкции удлинителя приведены на рис. 1. Дальнейшие разработки узла удлинителя были направлены на повышение надёжности контакта токоподвода с электродной проволокой.

Нарушение электрического контакта часто происходит от неравномерного износа токоподвода и направляющей втулки при их жестком взаимном закреплении. На рис. 2 приведена конструкция удлинителя с плавающим сферическим токоподводом.

Сварка с увеличенным вылетом электрода – высокопроизводительный процесс. Производительность этого процесса значительно выше, чем производительность сварки с нормальным вылетом. Повышенная производительность требует повышения стойкости быстроизнашиваемых деталей сварочного оборудования. Особенно это касается токоподводов и сопел. Токоподводящие элементы горелки при сварке с увеличенным вылетом электрода защищены жаростойкой диэлектрической втулкой. Как показал опыт, срок службы токоподводящего наконечника, защищенного керамической втулкой увеличивается в 3–4 раза.

При выборе материала и конструкции газоподводящего сопла лаборатория сварки УО «МГПУ» одновременно ставила задачу усовершенствования конструкции всей горелки: улучшение условий труда, возможность выполнения сварочных работ в труднодоступных местах. На рис. 3 даны конструкции керамических сопел. Сопло конструкции /а/ крепится

Гриценко П.А., Козлович П.А. Мозырский государственный педагогический университет.