

Е. М. ДУБИНИНА, В. П. НОВОЖИЛОВ, С. С. ЕЛОВИКОВ

## ФОРМИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК И ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ

Показано, что электронное облучение можно использовать для создания сложных диэлектрических и резистивных покрытий на полимерной основе, локализованных в области взаимодействия электронного луча с подложкой. Определены параметры пленкообразования монооксида кремния и серебра на полимерной подложке при включении электронного облучения и без него. Исследован ряд материалов из класса кремнийуглеродных гетероциклов при введении в них диэлектрического и металлического компонента в структурах металл — диэлектрик — металл.

Известно, что при электронно-лучевой полимеризации различных мономеров можно получить пленки с широким спектром свойств [1—5]. Можно указать по крайней мере на три направления, в которых целесообразно использование электронного луча.

Электронный луч формирует пленку. Это можно осуществить в процессе электронно-лучевой полимеризации различных соединений, молекулы которых конденсируются из газовой фазы на поверхность, где их полимеризует пучок электронов и в результате образуется твердое покрытие. Свойства покрытия зависят в первую очередь от природы исходного материала и параметров осаждения. Таким путем могут быть получены диэлектрические и полупроводниковые пленки.

Электронный луч создает на поверхности зародышевые центры (ими могут быть отдельные полимерные молекулы), которые в дальнейшем служат центрами преимущественной конденсации для другого материала. Таким путем можно получить пленки любой природы, в том числе и металлические.

На специальных подложках электронный луч создает дополнительные центры адсорбции, что в определенных условиях способствует активации процессов конденсации и диффузии и созданию сложных покрытий.

В настоящее время не вызывает сомнения целесообразность использования пленок неорганических полимеров, поскольку они обладают повышенной температурной стойкостью и устойчивостью в отношении диффузии чужеродных атомов [6]. Метод электронно-лучевой полимеризации позволяет эффективно контролировать параметры процесса осаждения и, следовательно, направленным образом менять свойства пленок. Однако достоинства этого метода могут быть реали-

зованы только в том случае, когда обеспечивается строго постоянный поток молекул исходного состояния.

Для получения диэлектрических полимерных слоев нами были использованы этилсилоксан (соединение № 1), дифенилсилациклобутан (соединение № 2) и 1- $\alpha$ -1-нафтил-1-фенилсилациклобутан (соединение № 3) [7]. Указанные вещества, имея все основные достоинства, присущие кремнийорганическим соединениям, обладают важным свой-

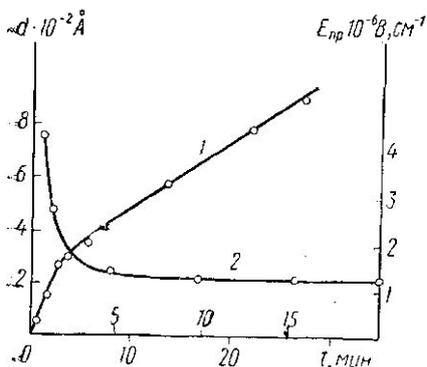


Рис. 1. Зависимость толщины пленки  $d$  (соединение № 2) от времени напыления ( $t$ ). Изменение напряженности поля пробоя  $E_{пр}$  от  $d$  (2)

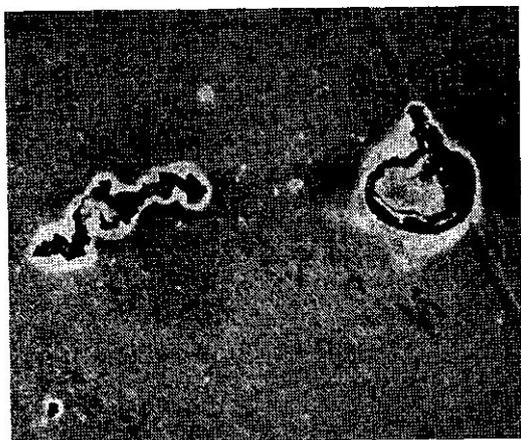


Рис. 2. Микрофотография верхнего электрода диодной структуры после пробоя. Увеличение  $8000\times$  (соединение № 1)

ством, заключающимся в отсутствии процессов старения в заполимеризованном состоянии. Последние являются следствием кристаллизации полимеров.

Получение и исследование пленок было проведено в высоковакуумной установке с безмасляной откачкой ( $10^{-6}$  мм рт. ст.). Свойства полимерных пленок изучали в структурах типа металл — диэлектрик — металл, в качестве электродов использовали пленки Al или Ag, напыленные термическим путем из танталовых испарителей. Для полимеризации применяли электронный пучок, создаваемый диодной системой с вольфрамовым катодом, плотностью тока  $\approx 2,5$  мА/см<sup>2</sup> и энергией 400 эВ. Температура подложки изменялась в интервале  $50 \leq T \leq 250^\circ\text{C}$ ; контроль температуры осуществляли с помощью термопары с точностью 2—3°C. Толщину пленки и ее показатель преломления определяли с помощью эллисометра непосредственно в процессе напыления. Исследование диодных структур (металл — диэлектрик — металл) проводили в вакууме, при этом выявились некоторые общие свойства полимерных слоев, характерные для всех выбранных соединений. Приведем наиболее важные из них.

1. Зависимости толщины пленок  $d$  от времени их напыления при прочих равных условиях представляют из себя два прямолинейных участка. Излом соответствует толщине  $\approx 300$ —400 Å. На начальных стадиях скорость роста в 3—4 раза выше. (Для соединения № 3 она составляет, например, 1,3 Å/с, рис. 1, кривая 1.)

2. Электрическая прочность или пробивная напряженность электрического поля ( $E_{пр}$ ) одинакова для пленок всех соединений и составляет  $\approx (1,5-2) \cdot 10^6$  В/см при толщинах  $d \geq 400$  Å. При  $d < 400$  Å наблюдается резкое увеличение  $E_{пр}$  с уменьшением толщины. Для пленок из полиэтилсилоксана  $E_{пр}$  достигает величины  $6 \cdot 10^6$  В/см при  $d = 60$  Å, для пленок из соединения № 3  $E_{пр} = 4,5 \cdot 10^6$  В/см при  $d = 70$  Å (рис. 1, кривая 2).

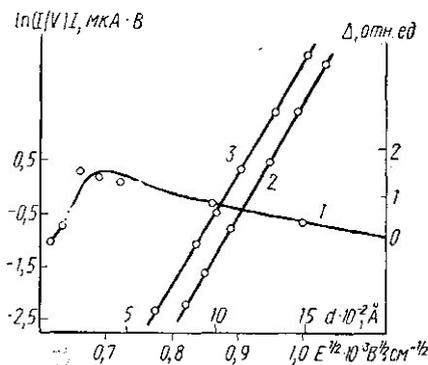


Рис. 3. Изменение  $\Delta = (I_+ - I_-)/I$  в зависимости от  $d$  для МДМ с пленкой на основе соединения № 3. ( $I_+$  — ток при положительном верхнем электроде,  $I_-$  — при отрицательном). Вольтамперной характеристике 2 соответствует минус напряжения на верхнем электроде, вольтамперной характеристике 3 — плюс на том же электроде

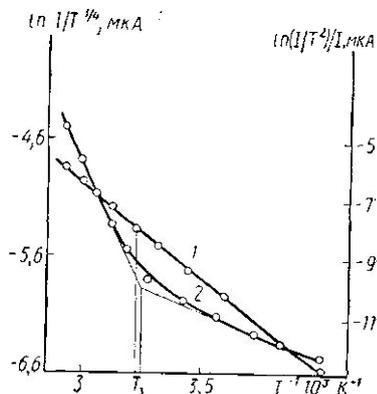


Рис. 4. Температурные зависимости токов в диодных структурах с пленками на основе соединения № 3 при  $d = 110$  Å,  $V = 1,3$  В (кривая 1, правая ось ординат),  $d = 500$  Å,  $V = 3$  В (кривая 2)

Указанные величины  $E_{пр}$  относятся к измерению на постоянном токе, при использовании переменного напряжения  $E_{пр}$  увеличивается в 1,3—1,5 раза.

Из п. 1 и 2 можно сделать вывод о достаточно сильном влиянии металлической подложки на свойства приповерхностных полимерных слоев вплоть до толщин пленок  $\approx 400$  Å. Кроме этого, на зависимость  $E_{пр}(d)$  влияет уменьшение вероятности возникновения лавинного пробоя с уменьшением толщины пленки [8].

3. Пробой в диодных структурах всегда носит локальный характер, что связано с существованием на поверхности электродов неровностей, размер которых может меняться от 40 Å до 1000 Å [9]. Об этом свидетельствуют изображения верхнего электрода структуры, сделанные в растворов электронном микроскопе (рис. 2).

4. Электронно-микроскопические исследования пленок свидетельствуют об отсутствии собственной структуры. Это позволяет с успехом использовать их в качестве реплик, которые достаточно термостойки и не разрушаются под действием электронного пучка в микроскопе. Кроме того, они не изменяют своих свойств с течением времени в отличие от реплик на основе диффузионного масла [10].

5. Вольтамперные характеристики, построенные в координатах  $\ln I/V \div \sqrt{E}$  (где  $I$  — ток через структуру,  $E$  — напряженность электрического поля в пленке) в интервале толщин  $70 \leq d \leq 2000$  Å, являются прямыми линиями при изменении  $E$  от  $1 \cdot 10^5$  до  $1,5 \cdot 10^6$  В/см (рис. 3,

прямая 2 и 3). При этом изменение полярности приложенного напряжения не приводило к изменению тока, протекающего через структуру, при использовании в качестве электродов металлов с различной работой выхода (Al и Ag). Это позволяет предположить, что ответственным за токопрохождение является объемный механизм. Исключение составляют пленки соединения № 3 при толщинах  $d < 500 \text{ \AA}$ , для которых изменение полярности напряжения приводило к изменению в токе, что может иметь место, когда определенную роль в токопрохождении играют барьерные эффекты (рис. 3, кривая 1). Наклоны для вольтамперных характеристик таких пленок в координатах  $\ln I \div \sqrt{E}$  для областей толщин  $d > 500 \text{ \AA}$  и  $d < 100 \text{ \AA}$  отличались в два раза и совпадали с наклонами теоретических вольтамперных характеристик в случае эффекта Пула — Френкеля с половинной компенсацией и надбарьерной эмиссии Шоттки при использовании значений  $e = n^2$ , вычисленных из эллипсометрических измерений.

6. Температурные зависимости тока, снятые в интервале  $-50 \leq T \leq +120^\circ\text{C}$ , состоят из двух прямых линий, пересекающихся в точках

Таблица 1

Материал	$E_{\text{пр}}, \text{В}\cdot\text{см}^{-1}$	$\varepsilon, f = \text{кГц}$	$\text{tg}\delta, 1-10 \text{ кГц}$	$I, \text{А}\cdot\text{см}^{-2}$	Температурный коэффициент емкости, %/град	
Полиэтилсилоксан	$d = 500 \text{ \AA}$	$1,5 \cdot 10^6$	2,5—8	0,02	$10^{-5}$	0,02
	$d > 2500 \text{ \AA}$	$1,5 \cdot 10^6$	2,5—8	0,02	$10^{-5}$	0,02
	Полидифенил-силациклубутан $d = 500 \text{ \AA}$	$1,5 \cdot 10^6$	$\sim 7$	0,03	$5 \cdot 10^{-5}$	0,04
Поли-1-нафтил-1-фенилсиланиклубутан	$d = 500 \text{ \AA}$	$1,5 \cdot 10^6$	4	0,005	$10^{-7}$	0,02
	$d > 2500 \text{ \AA}$	$1,5 \cdot 10^6$	4	0,002—0,005	$10^{-7}$	0,02
	полимер № 3 + SiO $d = 500 \text{ \AA}$	$3,5-4 \cdot 10^6$	4	0,002	$10^{-8}$	0,01
	$d > 2500 \text{ \AA}$	$4 \cdot 10^6$	4	0,001—0,002	$10^{-8}$	0,01
	SiO $d > 2500 \text{ \AA}$	$(1-2) \cdot 10^6$	4—8	0,01—0,1	$10^{-5}$	0,04
	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> $d > 2500 \text{ \AA}$	$(4-6) \cdot 10^{6**}$ $(1-2) \cdot 10^{6***}$	15	0,005—0,01	$10^{-8}$	0,02

$I$  — ток утечки при  $V = (1/3 - 1/2) V_{\text{пр}}$

\* — данные взяты из работы [8].

\*\* — данные взяты из работы [12].

столкновения полимеров ( $T_c$ ). Из их наклонов были вычислены энергии активации проводимости ( $E_g$ ). Для соединения № 3 при  $d=500$  Å они оказались  $\approx 0,4$  эВ для  $T < T_c$  и  $\approx 0,6$  эВ при  $T > T_c$  (см. рис. 4). Для того же соединения при  $d=100$  Å  $E_g=0,8$  эВ при  $T < T_c$  и  $E_g=1$  эВ при  $T > T_c$ .

Помимо общих закономерностей, перечисленных выше, полученные пленки имели ряд особенностей, характерных для конкретного материала. Воспроизводимость свойств пленок на основе соединения № 1 существенно ниже, чем для прослоек из соединений № 2 и 3, которые имеют разброс по электрическому сопротивлению, диэлектрической проницаемости и другим характеристикам  $\approx 5\%$  при одной и той же толщине. По-видимому, это связано с полидисперсностью полиэтилсилоксана.

Для формовки пленок из соединений № 2 и 3 требовался прогрев сформированных структур при  $T \approx 120^\circ\text{C}$  в течение 0,5 ч, в результате чего их сопротивление повышалось в несколько раз, а величина  $E_{ир}$  возрастала примерно в два раза. Это объясняется дополнительной термоинициированной полимеризацией, заметно протекающей при такой температуре. Прогрев пленок из полиэтилсилоксана до той же температуры не изменял их свойств, что, по-видимому, связано с высокой температурой термоинициированной полимеризации для этого материала ( $\sim 600^\circ\text{C}$ ).

Увеличение энергии электронного луча, формирующего пленку, до 2 кэВ (при постоянной мощности) способствовало полной полимеризации пленок из соединений 2 и 3. В результате последующая температурная обработка не приводила к изменению в их свойствах.

Диэлектрические характеристики полимерных прослоек представлены в табл. 1. Там же для сравнения приведены данные для наиболее распространенных в настоящее время диэлектрических пленок из монооксида кремния<sup>1</sup> и для пленок из  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , обладающих лучшими диэлектрическими свойствами. Видно, что приведенные в таблице значения сравнимы с данными для пленок  $\text{SiO}$  (при  $d \approx 1-2$  мкм), однако преимущество полимерных слоев заключается в том, что они имеют указанные параметры при толщине  $< 1000$  Å, в то время как пленки из монооксида кремния при таких толщинах использоваться не могут.

Известно, что электрические характеристики объемных полимерных материалов можно улучшить путем введения специально подобранных наполнителей [9]. Мы попытались применить аналогичный способ для улучшения свойств пленок на основе соединения № 3. Наполнителем служила моноокись кремния, которую вводили в пленку по методике наполнения полимерных покрытий металлами [10]. На подложку одновременно с потоками электронов и молекул мономера направляли поток атомов  $\text{SiO}$ . Последний получали из трубчатого танталового испарителя, температуру которого контролировали по термопаре, что позволяло оценить в относительных единицах величину потока  $\text{SiO}$ . Для того чтобы образовывалась мелкодисперсная система полимер — моноокись кремния, поток  $\text{SiO}$  ( $\nu$ ) не должен существенно превышать некоторого критического значения ( $\nu_{кр}$ ). В противном случае реализуются условия, благоприятные для возникновения устойчивых зародышей конечного размера. Для выполнения условия  $\nu < \nu_{кр}$  с помощью эллисометра определяли величину критического потока для монооксида кремния, когда подложкой служила пленка полимера. Для

<sup>1</sup> То, что принято считать фазой  $\text{SiO}$ , по существу является смесью  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Si}$  [17].

сравнения эту же величину оценивали для металлической подложки (пленка серебра на поверхности стекла). Эллипсометр позволял фиксировать начальный момент осаждения пленки SiO при медленном увеличении температуры испарителя: через каждые 3° температуру испарителя поддерживали неизменной в течение 10 мин.

На рис. 5 представлены зависимости критического давления SiO ( $\rho_{кр} \sim v_{кр}$ ) от температуры подложки для чистого металла (1) и поли-

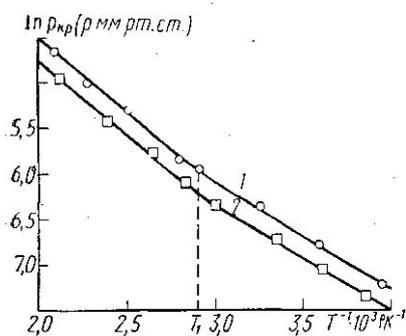


Рис. 5. Изменение критического давления  $\rho_{кр} (\sim v_{кр})$  в зависимости от температуры подложки. Подложка — пленка серебра (1) и полимерная пленка (2)

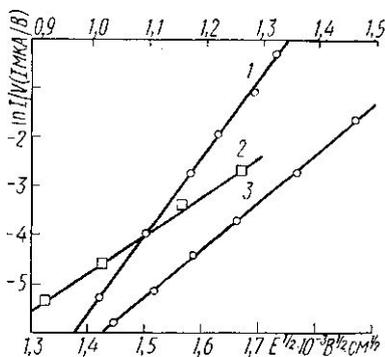


Рис. 6. Вольтамперные характеристики диодных структур с полимерной пленкой (1), пленкой SiO (2) и комбинированной пленкой (3)

мерной пленки на нем (2), построенные в координатах  $\ln \rho_{кр} \div 1/T^\circ$  в соответствии с формулой, связывающей величины  $v_{кр}$  и  $T$  [11]:

$$v_{кр} \sim \sigma_{ц.а}^{-1} e^{-Q/kT}, \quad (1)$$

где  $Q$  — энергия пленкообразования,  $\sigma_{ц.а}$  — плотность центров адсорбции.

Зависимости (рис. 5, кривые 1 и 2) являются параллельными прямыми с изломом в точке, соответствующей температуре  $\approx 70^\circ\text{C}$ . Изломы объясняются тем, что при  $T > 70^\circ\text{C}$  поверхность очищается от адсорбированного слоя молекул мономера, что фиксируется эллипсометром. Параллельность 1 и 2 свидетельствует о равенстве энергий пленкообразования ( $Q$ ) для металлической подложки и полимерной пленки. Однако осаждение SiO на пленке происходит при потоках примерно в 3 раза меньших, чем для металла (толщина пленки полимера  $d = 500 \text{ \AA}$ ), что говорит о большем числе центров адсорбции на поверхности полимера. При увеличении толщины пленки кривая 2 не изменяется, при уменьшении  $d$  она сближается с кривой 1, оставаясь параллельной ей. О том, что на поверхности полимерной пленки осаждение SiO происходит интенсивнее, свидетельствует рост пленки SiO на поверхности полимера и металла при одном и том же потоке монооксида кремния  $v > v_{кр}$ . На начальной стадии скорость роста пленки в первом случае в 1,5 раза больше, чем во втором.

При наполнении полимерной пленки монооксидом кремния по указанной выше методике электрические свойства пленок существенно зависели от количества введенной в пленку SiO. Существует оптималь-

ный режим формирования комбинированных пленок полимер + SiO<sub>2</sub>, когда их сопротивление возрастает ~ в 10 раз по сравнению с сопротивлением чисто полимерной пленки той же толщины. Такой режим осуществляется в случае, когда используется величина потока SiO<sub>2</sub>,  $v_{\text{опт}}$  близкая к его критическому значению. При этом пробивная напряженность электрического поля диодной структуры увеличивается в 3 раза. В случае использования потоков SiO<sub>2</sub>, меньших  $v_{\text{опт}}$  свойства комбинированных прослоек приближаются к свойствам полимерных пленок; если поток молекул монооксида кремния существенно превосходит значение  $v_{\text{опт}}$ , то электрические характеристики диодных структур с такими пленками заметно ухудшаются.

В табл. 1 даны электрические характеристики пленочных структур с прослойками из полимеров и комбинированного материала. Для сравнения представлены те же величины для прослоек из анодированной Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Комбинированные пленки, как видно из табл. 1, по всем параметрам не уступают пленкам Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, а по ряду признаков, например, по простоте изготовления, существенно превосходят последние.

Испытания, проведенные с пленками, показали, что приложение к диодным структурам напряжения, равного половине пробивного, в течение месяца в условиях обычной атмосферы не изменяет свойств пленок. При этом электродами служили пленки серебра, атомы которого обладают повышенной подвижностью, что обычно приводит к закорачиванию диодных структур из-за диффузии Ag в диэлектрик. Это указывает на хорошую сплошность исследуемых прослоек. Комбинированные пленки так же, как и полимерные, аморфны и не обладают собственной структурой, что позволяет использовать их в качестве реплик, контраст которых удастся улучшить за счет отщепления монооксидом кремния при правильном расположении испарителя SiO<sub>2</sub> и подложки.

В ИК-спектрах поглощения комбинированных пленок появляется дополнительное поглощение, соответствующее области собственного поглощения монооксида кремния. Из УФ-спектров таких пленок и пленок на основе соединения № 3 можно в первом приближении оценить ширину запрещенной зоны, которая оказалась одинаковой для обоих материалов  $\approx 4,7$  эВ. Размытие края фундаментального поглощения, характерное для всех исследованных пленок, связано, по-видимому, с наличием большого числа уровней вблизи границ зон, что обычно имеет место в случае аморфного материала.

Вольтамперные характеристики для диодных структур с комбинированной пленкой были построены во френкелевских координатах, так как трудно предположить, что при введении SiO<sub>2</sub> в полимер перестанут превалировать объемные эффекты. На рис. 6 приведены вольтамперные характеристики для полимерной пленки (соединение № 3,  $d = 500$  Å) (1), комбинированной пленки толщиной 450 Å (3) и для структуры с пленкой из SiO<sub>2</sub> толщиной 6000 Å (2). Прямая 1 соответствует теоретической зависимости Пула — Френкеля при совпадении уровня Ферми с уровнем донорных центров. Вольтамперная характеристика 2 имеет наклон в 2 раза меньший, что характерно для пленок SiO<sub>2</sub> [13]. Вольтамперная характеристика 3, относящаяся к структуре с комбинированной прослойкой, имеет промежуточный наклон и совпадает с теоретической зависимостью Пула — Френкеля для частного случая, когда вблизи дна зоны проводимости имеется определенное количество уровней прилипания.

Из температурных зависимостей токов через структуры с комбинированными пленками были найдены величины энергий активации проводимости для  $T < T_c$  и  $T > T_c$ : они равны 0,53 и 0,62 эВ. В табл. 2

представлены энергии активации проводимости для всех исследованных материалов.

Таблица 2

Материал	$E_g(T < T_c)$ , эВ	$E_g(T > T_c)$ , эВ
Полиэтилсилоксан . . . . .	$0,4 \pm 0,1$	$0,62 \pm 0,1$
Дифенилсилациклобутан . . . . .	$0,4 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,1$
1- $\alpha$ -нафтил-1-фенилсилациклобутан . . . . .	$0,42 \pm 0,1$	$0,62 \pm 0,1$
SiO соединение № 3 . . . . .	$0,53 \pm 0,1$	$0,62 \pm 0,1$
SiO . . . . .	$0,54$	

Величины  $E_g$  приблизительно одинаковы для всех указанных в табл. 2 веществ, что позволяет предположить, что доноры имеют одну и ту же природу. Из [14] известно,

что в качестве донорных уровней в пленках типа  $\text{SiO}_x$  могут служить атомы кремния, которые всегда присутствуют в напыленных слоях  $\text{SiO}_x$ . Весьма вероятно, что в используемых соединениях в процессе бомбардировки электронным лучом образуются отдельные атомы кремния. Кроме того, донорами в полимерах могут быть атомы кремния, заканчивающие полимерные молекулы. При наполнении полимерных пленок монооксида кремния . . . . . уще . . . . . ааж . . . . . еря . . . . . возраста . . . . . числа уровней прилипания. Оба обстоятельства могут объяснить уменьшение наклона вольтамперных характеристик, наблюдающееся в эксперименте. Однако, поскольку сопротивление пленки при этом возрастает, нам кажется предпочтительнее второе предположение.

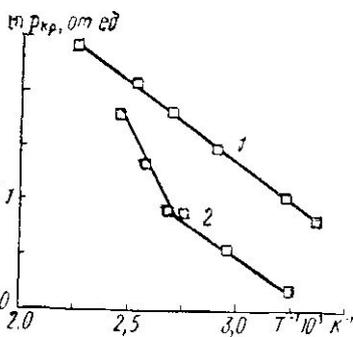


Рис. 7. Изменение критического давления  $p_{кр}$  ( $\sim \nu_{кр}$ ) в зависимости от температуры подложки при использовании в качестве подложки полимерной пленки (1) и та же зависимость в присутствии электронного облучения (2)

При наполнении полимерного материала (соединение № 3) никелем по той же методике были получены резистивные покрытия. Сопротивление пленок изменялось в интервале  $10^9$ — $10^{14}$  Ом/□. Для расширения диапазона сопротивлений необходимо использовать исходный материал, который бы в большей степени изменял свои электрические характеристики при введении в него металлического компонента.

С этой целью были исследованы свойства пленок из 1-метил-1-толил-1-силациклобутана при наполнении их серебром. Для определения необходимого соотношения потоков серебра и мономера с помощью эллипсометра определяли значение критического потока атомов серебра, соответствующего осаждению Ag на поверхности полимера.

На рис. 7 (1) представлены полученные результаты, из которых можно оценить как  $Q$  ( $0,1$  эВ), так и число адсорбционных центров на пленке полимера. Поскольку рост металлонаполненной пленки происходит при непрерывном облучении ее потоком электронов, определенный интерес представляет оценка  $\nu_{кр}$  в этом режиме. Действительно, облучение поверхности светом в определенных условиях вызывает фо-

тоадсорбционный эффект, связанный с возникновением дополнительных адсорбционных центров [15—16]. Аналогичным может быть воздействие электронного облучения на поверхность, что может привести к изменению величины  $v_{кр}$ . На рис. 7 (2) представлена зависимость  $v_{кр} = f(1/T)$  в присутствии облучения.

Смещение кривой 2, по-видимому, вызвано возникновением дополнительных центров зародышеобразования под действием облучения. Эти центры могут быть идентичны центрам необлученной полимерной пленки или отличаться от них. Если добавочные центры аналогичны основным, т. е. имеют ту же энергию пленкообразования, то в соотношении (1) изменится только коэффициент:

$$v_{кр} \sim (\sigma_{п.а} + \Delta\sigma)^{-1} \exp\left(\frac{-Q}{kT}\right). \quad (2)$$

Величина  $\Delta\sigma$  ограничена, поскольку ограничено число вновь возникающих центров. Дополнительные центры могут отжигаться, поэтому концентрация их в общем случае есть функция температуры и плотности тока на подложку. Если энергия термического отжига центров выше энергии пленкообразования на них, то  $\Delta\sigma$  при понижении температуры станет близким к своему максимальному значению и зависимость  $\ln v_{кр} = f(1/T)$  будет линейной, причем наклон прямой должен соответствовать прежней энергии пленкообразования.

Данные нашего эксперимента согласуются с этим предположением. В области температур  $T \geq 100^\circ\text{C}$  (2) концентрация центров ограничена температурным отжигом. При  $T \leq 100^\circ\text{C}$   $\Delta\sigma \approx \Delta\sigma_{\max}$  и прямая 2' для этого интервала температур параллельна 1 для необлученной подложки и соответствует энергии пленкообразования  $\approx 0,1$  эВ. Таким образом, облучение подложки в нашем случае понижает значение  $v_{кр}$  в 2,5 раза в результате возникновения дополнительных центров адсорбции, идентичных уже имеющимся на полимерной пленке.

Наполнение исследуемого покрытия металлом (Ag) при  $v < v'_{кр}$  ( $v'_{кр}$  соответствует критической интенсивности потока атомов серебра для облучаемой пленки) позволило получить резистивные пленки, сопротивление которых изменялось в диапазоне  $10^5 \Omega/\square \leq R \leq 10^9 \Omega/\square$ .

Таким образом, электронное облучение может быть использовано как для непосредственного формирования диэлектрических полимерных покрытий, так и для стимуляции осаждения диэлектрических и металлических атомов. Последнее обстоятельство позволяет получать локализованные пленки различной природы.

Авторы благодарны Н. В. Ушакову за полезные обсуждения и любезное предоставление исходных материалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вишняков Б. А., Осипов К. А. Электронно-лучевой метод получения тонких пленок из химических соединений. М., 1970.
2. Грегор Л. В. Физика тонких пленок. т. 3, под ред. Г. Хасса и Р. Э. Туна. М., 1970.
3. Christy R. W. «J. Appl. Phys.», 35, 2179, 1964.
4. Мэлл Н. Т. «J. Appl. Phys.», 35, 2173, 1964.
5. Woodman T. «Brit. Journ. Appl. Phys.», 6, 539, 1965.
6. Суйковская Н. В. Химические методы получения тонких прозрачных пленок. Л., 1971.
7. Еловиков С. С., Дубинина Е. М., Ушаков Н. В. «Физика диэлектриков и перспективы ее развития». Тезисы докладов. Л., 1973, стр. 145.
8. Корзо В. Ф. и др. Пленки из элементоорганических соединений в радиоэлектронике. М., 1973.

9. Воробьев Г. А. Физика твердого тела, 10, 266, 1968.
10. Дубинина Е. М. и др. «Вестн. Моск. ун-та», сер. физ., астрон., 13, 400, 1972.
11. Френкель Я. И. Журнал Русского физико-химического общества при ЛГУ, сер. физич. I, вып. 1, 2—3, 149—166, 1924.
12. Ефимов И. Е. Современная микроэлектроника. М., 1973.
13. Stuart M. «Brit. Journ. Appl. Phys.», 18, 1637, 1967.
14. Brady G. W. «J. Phys. Chem.», 63, 1119, 1959.
15. Волькенштейн Ф. Ф. Физико-химия поверхности полупроводников. М., 1973.
16. Киселев В. Ф. Поверхностные явления в полупроводниках и диэлектриках. М., 1970.
17. Зарифьянц Ю. А., Киселев В. Ф., Козлов С. Н., Новотоцкий — Власов Е. Ф. «Вестн. Моск. ун-та», сер. физ., астрон., 16, № 4, 1975.

Поступила в редакцию  
3.10 1974 г.

Кафедра  
электроники.

---